
BACHELORARBEIT

Herr
Carsten Lippe

**Die Unterhaltungsindustrie im
Pixelwahn. Garantiert 4K Auflö-
sung den bildtechnischen Qua-
litätssprung, der dem Konsu-
menten suggeriert wird?**

2013

BACHELORARBEIT

Die Unterhaltungsindustrie im Pixelwahn. Garantiert 4K Auflö- sung den bildtechnischen Qua- litätssprung, der dem Konsu- menten suggeriert wird?

Autor:
Herr Carsten Lippe

Studiengang:
Film und Fernsehen

Seminargruppe:
FF09w1-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. Detlef Gwosc

Zweitprüfer:
Michael Schaufert

Einreichung:
Berlin, 23.07.2013

BACHELOR THESIS

The pixel delusion of the entertainment industry. Does 4K resolution offer the increase of image quality suggested to the customer?

author:
Mr. Carsten Lippe

course of studies:
Film und Fernsehen

seminar group:
FF09w1-B

first examiner:
Prof. Dr. Detlef Gwosc

second examiner:
Michael Schaufert

submission:
Berlin, 23.07.2013

Bibliografische Angaben:

Lippe, Carsten:

Die Unterhaltungsindustrie im Pixelwahn. Garantiert 4K Auflösung den bildtechnischen Qualitätssprung, der dem Konsumenten suggeriert wird?

The pixel delusion of the entertainment industry. Does 4K resolution offer the increase of image quality suggested to the customer?

2013 - 85 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2013

Abstract

4K Auflösung gilt als der neue Auflösungsstandard der Film- und Fernsehbranche. Seitens der Unterhaltungsindustrie wird 4K als Verkaufsargument eingesetzt um die Absätze zu erhöhen. Doch inwiefern hat eine höhere Auflösung Einfluss auf die Qualität eines Bildes? Welche Rolle spielen im Vergleich dazu andere Bildparameter und wie wirken sich diese auf die Bildgüte aus? Um eine Aussage über den Sinn von 4K Auflösung machen zu können, werden technische sowie physische Auflösungsgrenzen definiert. Des Weiteren werden verschiedene Faktoren vorgestellt, die die Bildgüte beeinflussen. Es wird der Einzug der 4K Technologie in Kino und Fernsehen beschrieben und über Schwierigkeiten bei der Etablierung informiert. Anhand eines Testverfahrens werden verschiedene Auflösungen miteinander verglichen. Auch die Auswirkungen der 4K Auflösung auf die Gewerke einer Filmproduktion werden näher betrachtet, um abschließend 4K Auflösung und dessen Nutzen bewerten zu können.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XII
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen der Auflösung.....	3
2.1 Das Pixel.....	3
2.2 Der digitale Bildsensor.....	6
2.3 Auflösungsvermögen des menschlichen Auges.....	11
2.4 Die verschiedenen Auflösungsformate.....	15
2.4.1 Das SD Format.....	16
2.4.2 HD Ready.....	17
2.4.3 Full HD und 2K.....	17
2.4.4 Ultra HD-1 und 4K.....	18
2.4.5 Ultra HD-2 und 8K.....	18
3 Wichtige Parameter der Bildgüte.....	20
3.1 Der Zusammenhang von Bildauflösung und Bildschärfe.....	20
3.2 Der Kontrast- und Dynamikumfang.....	26
3.3 Die Bildrate.....	31
3.4 Zwischenresümee zur Bildgüte.....	35
4 4K in Kino und Fernsehen.....	38
4.1 4K im digitalisierten Kinosaal.....	38
4.2 4K im Fernsehen.....	46
5 Empirische Untersuchung zur Auflösungsleistung von SD / HD und 4K	50
5.1 Die Testvorbereitungen.....	50
5.1.1 Die Testtafel.....	50
5.1.2 Der Testaufbau.....	51
5.1.3 Die Nyquist-Frequenz.....	51

5.2	Der Testverlauf.....	52
5.3	Die Testergebnisse.....	53
5.3.1	Testergebnis des SD Signals.....	53
5.3.2	Testergebnis des Full HD Signals.....	54
5.3.3	Testergebnis des konvertierten Full HD Signals.....	55
5.3.4	Testergebnis des 4K Signals.....	56
6	Erörterung der Konsequenzen von 4K für die Filmbranche.....	59
6.1	Veränderungen im Kameradepartment.....	59
6.2	Veränderungen für die Maskenbildner.....	61
6.3	Veränderungen für das Kostümbild.....	62
6.4	Veränderungen in der Postproduktion.....	64
7	Fazit.....	66
	Literaturverzeichnis.....	XIII
	Eigenständigkeitserklärung.....	XVI

Abkürzungsverzeichnis

2K

...ca. 2000 Pixel pro horizontaler Bildzeile

4K

...ca. 4000 Pixel pro horizontaler Bildzeile

B/s

...Bilder pro Sekunde

CCD

...Charge-coupled Device

CMOS

...Complementary Metal Oxide Semiconductor

DCI

...Digital Cinema Initiatives

DCP

...Digital Cinema Package

DIT

...Digital Imaging Technician

DSLR

...Digital single-lens reflex

EV

...Exposure Value

FFA

...Filmförderungsanstalt

GB

...Gigabyte

HD

...High Definition

HDR

...High Dynamic Range

HEVC

...High Efficiency Video Coding

HFR

...High Frame Rate

Hg.

...Herausgeber

LP

...Linienpaar

MGM

...Metro-Goldwyn-Mayer

MP

...Megapixel

MTF

...Modulation Transfer Function

NHK

...Nippon Hōsō Kyōkai

NTSC

...National Television Systems Committee

PAL

...Phase Alternation Line

px

...Pixel

RGB

...Rot, Grün und Blau

SD

...Standard Definition

TV

...Television

UHD

...Ultra High Definition

VFX

...visual effects

WM

...Weltmeisterschaft

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergrößerung einer Pixelgrafik mit gut erkennbarer Pixelstruktur.....	4
Abbildung 2: Pixelgrafik mit eingezeichnetem Pixel.....	4
Abbildung 3: Linker Smiley mit 20x20 Pixel und rechter Smiley mit 40x40 Pixel.....	5
Abbildung 4: Aus der Kamera ausgebauter CMOS-Sensor.....	6
Abbildung 5: Ausschnitt eines CMOS-Sensors, Pixel erkennbar.....	6
Abbildung 6: Bayer-Muster eines CMOS-Sensors.....	7
Abbildung 7: Einzelne Pixeldarstellung für jeden Farbkanal.....	7
Abbildung 8: Schematische Darstellung FoveonX3-Chip.....	10
Abbildung 9: Vergleich der Technologien: FoveonX3 vs. CMOS.....	10
Abbildung 10: Typischer Moiré Effekt: links Original, rechts Moiré durch die Kamera. .	10
Abbildung 11: Moiré in feinen Gebäudestrukturen.....	10
Abbildung 12: Querschnitt des menschlichen Auges mit Netzhautgrube.....	13
Abbildung 13: Verhältnis der Zapfen und Stäbchen auf der Netzhaut.....	13
Abbildung 14: Größenverhältnis verschiedener Auflösungen, bei gleicher Pixelgröße.	19
Abbildung 15: Realmotiv mit sich verdichtenden vertikalen Linien.....	20
Abbildung 16: Kontrastveränderungen bei steigender Ortsfrequenz.....	20
Abbildung 17: Linke Kameraabbildung besitzt doppelte Pixelauflösung im Vergleich zur rechten.....	22
Abbildung 18: MTF Darstellung der beiden Kameraabbildungen, links geringeres Heynacher Integral als rechts.....	23
Abbildung 19: Veranschaulichung der wachsenden Betrachtungswinkel bei steigender Auflösung.....	25

Abbildung 20: links: Clipping in den Wolken, rechts: Mehr Zeichnung in den Wolken auf Kosten von Details in den dunklen Bereichen.....	27
Abbildung 21: Eigene Belichtungsreihe von 2 Blenden Überbelichtung bis 3 Blenden Unterbelichtung.....	28
Abbildung 22: Aus mehreren Einzelbildern zusammengesetztes HDR Motiv.....	29
Abbildung 23: Beispiele aus einem HDR Video: links(überbelichtet), Mitte(zusammengesetzt), rechts(überbelichtet).....	29
Abbildung 24: Beispiele für Bewegungsunschärfen.....	32
Abbildung 25: Größere Störeffekte bei steigender Bildschirmdiagonale.....	33
Abbildung 26: Linkes Bild mit 24B/s aufgenommen, rechtes Bild mit 48B/s.....	33
Abbildung 27: Investitionen nach Spielstätten von 2003-2011 in Deutschland.....	39
Abbildung 28: geplante Investitionen 2012-2013 ohne Sonderformen, Neu-, Wiedereröffnungen und Schließungen.....	39
Abbildung 29: Übersicht zur Projektorenauflösung.....	41
Abbildung 30: Übersicht zur Projektorenauflösung nach Spielstättengröße.....	41
Abbildung 31: Grafische Darstellung zur Bestimmung des Sitzabstandes für 4K Inhalte	42
Abbildung 32: Darstellung der Auflösungsanforderung je nach Sichtabstand.....	43
Abbildung 33: Verhältnis der Sitzabstände in Deutschland.....	43
Abbildung 34: Benötigte Datenmenge bei gleicher visueller Bildqualität.....	47
Abbildung 35: vollständige Testtafel mit Testgrafiken.....	50
Abbildung 36: einzelne Testgrafik mit verschiedenen Linienpaarabständen.....	50
Abbildung 37: Sony DVW 790p.....	51
Abbildung 38: Sony F3.....	51
Abbildung 39: Sony F65.....	51

Abbildung 40: Testgrafik in SD Qualität.....	54
Abbildung 41: SD Vergrößerung 10 LP/mm.....	54
Abbildung 42: Testgrafik in Full HD Qualität.....	54
Abbildung 43: Full HD Vergrößerung 10 LP/mm.....	54
Abbildung 44: Full HD Vergrößerung 20 LP/mm.....	54
Abbildung 45: Testgrafik konvertiertes Full HD Signal der Sony F65 via Ninja.....	56
Abbildung 46: Full HD Vergrößerung 20 LP/mm der Sony F65 via Ninja.....	56
Abbildung 47: Full HD Vergrößerung 20 LP/mm der Sony F3.....	56
Abbildung 48: Testgrafik in 4K Qualität.....	57
Abbildung 49: 4K Vergrößerung 40 LP/mm.....	57
Abbildung 50: Full HD Vergrößerung 40 LP/mm der Sony F65 via Ninja.....	57
Abbildung 51: Beispiele der „Aktionsfläche in HD“ Bereich Maskenbild.....	61
Abbildung 52: Links: das Bild des 4K Quellmaterials.....	66
Abbildung 53: Rechts: mögliche Vergrößerung unter Erhalt der 2K Qualitätsanforderung.....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verhältnis zwischen Visus und Winkelsehschärfe.....	15
Tabelle 2: Übersichtstabelle zu den verschiedenen Auflösungsformaten.....	16
Tabelle 3: Betrachtungsabstand und Betrachtungswinkel abhängig vom Auflösungsformat.....	24
Tabelle 4: DCI Normen für die Wiedergabe von Kinofilmen.....	40
Tabelle 5: Übersichtstabelle der verschiedenen Testparameter.....	53

1 Einleitung

„Believe Beyond HD“¹

Der Wunsch nach einem neuen Auflösungsstandard, der die bisherigen Auflösungsgrenzen übersteigt, ist groß. Vor allem die Unterhaltungsindustrie hat großes Interesse daran, neue Auflösungsformate zu etablieren, um neue Absatzmärkte zu erschließen.

Spätestens seit dem abklingen des 3D Hypes und dem zusätzlichen Preisverfall aktueller Full HD Modelle, wird seitens der Industrie händeringend nach einem neuen, umsatzstarken Indikator gesucht, der das Kaufbedürfnis der Konsumenten weckt.

Brandneu auf dem Unterhaltungsmarkt ist die sogenannte 4K Auflösung. Mit der 4-fachen HD Auflösung ist 4K noch schärfer, deutlich detailreicher und ermöglicht Bildschirmdiagonalen jenseits der 60 Zoll. 4K scheint demnach prädestiniert dafür zu sein, in Zukunft für hohe Verkaufszahlen zu sorgen. Zumindest behauptet das die Unterhaltungsindustrie. Potenzielle Kunden erhoffen sich den gleichen Wow-Effekt wie beim Wandel vom SD hin zu HD Fernsehen. Doch ist die 4K Auflösung wirklich der alles entscheidende Faktor für ein qualitativ hochwertiges Bild? Ist es der richtige Ansatz seitens der Industrie, nur auf diesen einen Bildparameter zu setzen und im Zuge dessen andere zu vernachlässigen?

In meiner Arbeit werde ich diskutieren, ob das neue 4K Auflösungsformat die von der Industrie versprochenen qualitätssteigernden Maßnahmen garantiert und wenn ja, unter welchen Umständen. Hierfür ist es zu allererst notwendig den bildbestimmenden Parameter Auflösung genauer zu erklären, indem über die technischen Grundlagen eines digitalen Bildes informiert wird. Hierfür werden grundlegende Informationen zur Pixelstruktur eines Bildes erläutert und der technische Zusammenhang, sowie die Arbeitsweise eines digitalen Bildsensors erklärt.

Anhand des menschlichen Auflösungsvermögens werden wiederum die natürlichen Auflösungsgrenzen ermittelt, um anschließende Schritte zur Qualitätsbeurteilung von Auflösung und anderen Parametern treffen zu können. Anschließend werden die verschiedenen Auflösungsformate des Kinos und des Fernsehens benannt und erklärt. Anhand dieser Grundlagen werde ich auf verschiedene Bildparameter und deren Be-

¹ URL: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/sony-europe-limited/IBC-2012-Sony-geht-mit-Believe-Beyond-HD-in-die-naechste-Runde/boxid/528244> (abgerufen am 08.07.2013)

deutung für die Bildgüte eingehen und mit der Rolle der Auflösung vergleichen. Speziell den Einfluss der Bildauflösung auf die Bildschärfe gilt es genauer zu erklären. Denn häufig wird einer Darstellung mit hoher Auflösung auch eine hohe Bildschärfe nachgesagt.

Nach einem vorübergehenden Resümee über die Bedeutung verschiedenster Parameter für die Bildqualität, werde ich die Bedeutung von 4K in Kino und Fernsehen erläutern und schildern, welche Umsetzungsprobleme das neue Auflösungsformat in der jeweiligen Branche bereit hält.

Anschließend wird mittels einer eigens durchgeführten empirischen Untersuchung, die Auflösungsleistung bisheriger und aktueller Auflösungsformate über ein Testverfahren miteinander verglichen. Auf diese Weise kann anhand der Testergebnisse eine Aussage über den qualitativen Nutzen höherer Auflösungen getroffen werden.

Da die aufkommende 4K Thematik mich als Kameraassistent direkt beeinflusst, werde ich auf Grundlage meiner auf der *Showtech 2013* erworbenen Kenntnisse, die Konsequenzen der 4K Auflösung für die verschiedenen Departments der Filmbranche erörtern. Dort gelang es mir in meiner Funktion als Betreuer des Informationsstandes „*Bildeffekte in HD*“ mit verschiedenen Fachleuten diverser Departments über die Probleme einer höheren Auflösung zu sprechen.

Abschließend werden die gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst, um eine Aussage über die Sinnhaftigkeit von 4K in Hinblick auf qualitätssteigernde Maßnahmen des Bildes treffen zu können. Gemessen an der aktuellen Situation wird ein Ausblick unternommen, ob sich die 4K Auflösung auf dem Markt wird etablieren können, oder nicht.

Aufgrund der Aktualität der Thematik beschränkte sich ein Großteil meiner Recherchen auf Artikel diverser Fachzeitschriften der Medienbranche, da Fachbücher zum Thema bisher kaum zur Verfügung stehen.

2 Grundlagen der Auflösung

Um über den Sinn von weiteren Auflösungssteigerungen diskutieren zu können, müssen im Vorfeld die wichtigsten Grundlagen erklärt werden. Wodurch wird eigentlich die Auflösung eines digitalen Bildes bestimmt und wie ist es aufgebaut? In welchen Bereichen wird von der Auflösung Gebrauch gemacht und welche technischen Bauteile sind dafür entscheidend? Welche Rolle spielt das menschliche Auflösungsvermögen und wie wird Auflösung definiert? Die folgenden Kapitel dienen dazu Grundlagenwissen zur Thematik zu vermitteln, um den Bildparameter Auflösung besser zu verstehen.

2.1 Das Pixel

Die Auflösung eines Bildes wird über die Pixelzahl definiert. Jedes digitale Bild besteht aus einer für die jeweilige Auflösung charakteristischen Summe an Pixeln. Dabei ist es egal ob es sich um ein Foto oder das Einzelbild einer Videosequenz handelt. Ein Pixel wird auch als Bildpunkt bezeichnet und stammt aus dem englischen Begriff *picture element*. Das Pixel bildet das Basiselement des Bildes.² Somit entspricht das kleinste Detail, das innerhalb eines Bildes dargestellt werden kann, der Größe eines Pixels.

*„Um Pixel anzuordnen, brauchen wir eine **Matrix**. Eine Matrix ist in diesem Fall ein Schema, in dem Pixel für Pixel als Zeile die Bildbreite und Zeile für Zeile die Bildhöhe festlegen.“³ [Hervorhebung des Autors Waldruff]*

In der Video- und Filmindustrie erfolgt die Angabe der Pixel in Breite x Höhe oder anders ausgedrückt in horizontaler und vertikaler Richtung. Wird als Beispiel die Full HD Auflösung mit 1920x1080 Pixeln verwendet, befinden sich pro horizontaler Zeile 1920 Pixel in der Bildbreite und 1080 Pixel pro vertikaler Spalte in der Bildhöhe:

Bildbreite	x	Bildhöhe
1920px	x	1080px

² vgl. Waldruff, Thomas: „Digitale Bildauflösung“. Berlin, 2004. S.3

³ ebenda, S.3

Die Pixelanordnung eines Bildes ist mit einer Rasterstruktur zu vergleichen, auf der die Pixel geometrisch angeordnet sind. (Abb.1 + 2) Jedes Pixel eines Bildes erfasst einen bestimmten Bereich im Bild und ist für dessen Reproduktion zuständig.



Abb. 1: Vergrößerung einer Pixelgrafik mit gut erkennbarer Pixelstruktur ⁴

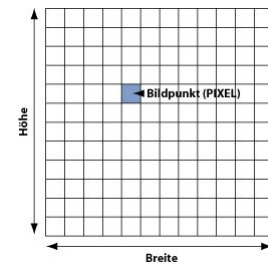


Abb. 2: Pixelgrafik mit eingezeichnetem Pixel⁵

Die in der Film- und Videobranche übliche Pixelangabe in Breite x Höhe wird aus verschiedenen Gründen verwendet. Einerseits kann durch die Multiplikation der beiden Faktoren die exakte Pixelzahl in Megapixel(MP) errechnet werden. Die Angabe in Megapixel heißt aber nicht, dass einige Pixel mehr Leistung garantieren als andere.⁶ *Mega* wird als Maßeinheit betrachtet und bedeutet die millionenfache Angabe der Pixel. Zwei Megapixel entsprechen somit ca. zwei Millionen Pixel. Diese Möglichkeit der Pixelbestimmung ist vor allem in der Fotografie üblich.

Des Weiteren kann durch die Angabe der Pixelzahl in Breite x Höhe das Seitenverhältnis eines Bildes errechnet werden. Dafür werden die horizontalen Pixel durch die vertikalen Pixel dividiert. Der errechnete Quotient von 1,178 entspricht im Full HD Beispiel einem Bildseitenverhältnis von 16:9. Hierbei gilt es darauf zu achten, das Bild- nicht mit dem Pixelseitenverhältnis zu verwechseln, denn dieses gibt Auskunft über das Seitenverhältnis des Pixels und nicht des Bildes.

Ein Pixelseitenverhältnis von 1:1 definiert eine quadratische Pixelgeometrie. (*Breite = Höhe*) Quadratische Pixel werden hauptsächlich auf den Sensoren digitaler Filmkameras verwendet.⁷ Bei quadratischen Pixeln sind alle Bildpunkte gleich groß und haben in jede Richtung den gleichen Abstand zueinander. Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann eine genaue Angabe über die Pixelanzahl des dargestellten Bildes getroffen

4 URL: <http://www.hoevelhof.com/2012/11/was-ist-ein-pixelbild/> (abgerufen am 12.05.2013)

5 URL: <http://www.kimm.uni-luebeck.de/oem/methoden-werkzeuge/mm-bildbearbeitung/content-2.html> (abgerufen am 12.05.2013)

6 vgl. Waldrapp, S.3

7 Anmerkung: siehe Kapitel *Der digitale Bildsensor*

werden. Rechteckige Pixel sind vor allem bei älteren Formaten anzutreffen, werden aber im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt.⁸

Um möglichst viele Details darstellen zu können, wird eine gewisse Mindestmenge an Pixeln benötigt. Je höher die Pixelmenge ist, desto feiner lassen sich schräge Linien und Details darstellen.⁹ Dies lässt sich auch auf die Auflösung übertragen. Je mehr Pixel zur Verfügung stehen, desto höher ist die Auflösung des Bildes. Ist die Pixelanzahl zu gering, erscheinen die Abstufungen zwischen den Pixeln häufig zu grob. Aus diesem Grund wird in der Regel versucht, auf der gleichen Fläche z.B. einer Sensorfläche, so viele Pixel unterzubringen wie möglich, damit feine Abstufungen im Bild erreicht werden können. Um dieses Ziel einer höheren Pixelmenge und somit einer höheren Auflösung zu erreichen, muss die Größe eines jeden Pixels verringert werden. Zusätzlich werden die Abstände der Pixel zueinander verringert, wodurch die Pixeldichte steigt. (Abb. 3)

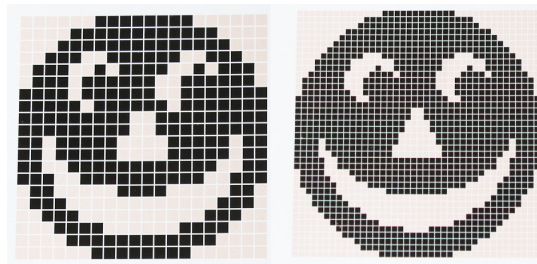


Abb. 3: Linker Smiley mit 20x20 Pixel und rechter Smiley mit 40x40 Pixel¹⁰

Auf diese Weise bleibt die Fläche auf der sich die Pixel befinden identisch, aber die Übergänge wirken aufgrund der kleineren und enger zusammen stehenden Pixel stufenloser. In diesem Fall wird von einer erhöhten Auflösung gesprochen, die mehr Details im Bild ermöglicht.¹¹

Die Anzahl der Pixel bestimmt die Auflösungsqualität eines Bildes. Je höher die Auflösung eines Bildes ist, desto mehr Pixel sind auf einer bestimmten Fläche untergebracht. Wie bereits erwähnt, sind Pixel und die daraus resultierende Auflösung nicht erst bei der Projektion auf eine Kinoleinwand oder der Wiedergabe auf einem TV-Gerät entscheidend. Bereits während des Aufnahme Prozesses sind Pixel ein wichtiger Faktor, denn auf der Sensoroberfläche, mit denen digitale Filmkameras heutzutage ausgestattet sind, befindet sich ebenfalls die angesprochene Pixelmatrix. Die Sensoren der

8 URL: <http://www.slashcam.de/artikel/Basiswissen-Videoproduktion/Quadratische-vs--rechteckige-Pixel--alles-.html>
(abgerufen am 12.05.2013)

9 vgl. Waldruff, S. 4

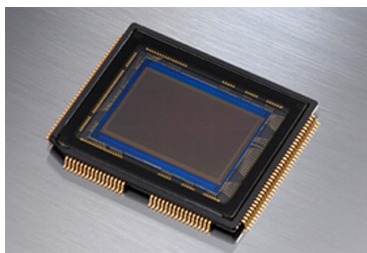
10 ebenda, S. 4

11 ebenda, S. 4

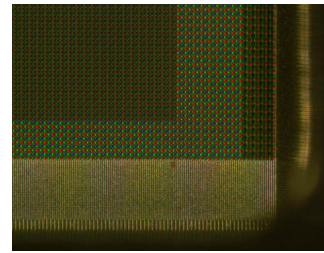
Kameras und die mit ihnen erzielte Auflösung legen somit den Grundstein für die Auflösungsqualität des aufgenommenen Materials. Die Pixel eines Kamerasensors enthalten alle wichtigen Helligkeits- und Farbinformationen, die für die Berechnung eines Bildes benötigt werden.¹²

2.2 Der digitale Bildsensor

Den Grundstein für die bestmögliche Auflösung legt heutzutage der digitale Bildsensor. Wurde früher ein Film analog belichtet, so ist es heutzutage in der Regel ein elektronisch arbeitender Sensor (*Abb.4*). Bildinformationen werden nicht länger durch fotochemische Reaktionen verarbeitet, sondern über elektronische Prozesse vom Sensor ausgelesen. Ein Bildsensor besteht aus einer Vielzahl von lichtempfindlichen Dioden (*Abb.5*).



*Abb.4: Aus der Kamera ausgebauter CMOS-Sensor*¹³



*Abb.5: Ausschnitt eines CMOS-Sensors, Pixel erkennbar*¹⁴

Diese Dioden werden auch als Pixel bezeichnet und sind in einer Rasteranordnung auf der Sensoroberfläche verteilt.¹⁵ Je mehr lichtempfindliche Dioden sich auf der Sensoroberfläche befinden, desto höher ist die Auflösung des Bildsensors. Wird ein Sensor belichtet, treffen die Lichtstrahlen für einen bestimmten Zeitraum auf diese lichtempfindlichen Pixel. Jedes Pixel wandelt die eintreffenden analogen Informationen in digitale Signale um, weshalb ein Sensor auch als Analog-Digital-Wandler bezeichnet werden kann.¹⁶

Der CMOS-Chip ist eine bestimmte Bauart eines Sensors. CMOS-Chips werden in vielen digitalen Foto- und Videokameras verbaut, da sie gegenüber anderen Sensortypen einige Vorteile aufweisen. CMOS-Sensoren lassen sich in großer Anzahl kostengünstig

¹² Anmerkung: siehe Kapitel *Der digitale Bildsensor*

¹³ URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Bildsensor-picture-sensor.html> (abgerufen am 13.06.2013)

¹⁴ URL: <http://petapixel.com/2013/02/12/what-a-dslr-cmos-sensor-looks-like-under-a-microscope/> (abgerufen am 13.06.2013)

¹⁵ Anmerkung: siehe Kapitel *Das Pixel*

¹⁶ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Analog-Digital-Umsetzer> (abgerufen am 21.06.2013)

produzieren und sind im Vergleich zu CCD-Chips sehr stromsparend.¹⁷ Nahezu jede digitale Filmkamera, die für aufwendige Spielfilmproduktionen genutzt wird, enthält einen CMOS-Chip. Dies ist auch bautechnisch bedingt, denn um die für 35mm Filmmaterial gefertigten Objektive auch an Kameras mit digitalen Sensoren nutzen zu können, muss zum einen die Chipgröße des Bildsensors, dem des 35mm Filmmaterials entsprechen und darüber hinaus der Abstand zur Film- bzw. Bildebene mit 52mm eingehalten werden.¹⁸ Der in CCD-Sensoren verbaute Strahlenteiler, welcher für die Aufspaltung der verschiedenen Wellenlängen zum jeweiligen farbempfindlichen Chip benötigt wird, erlaubt eine derart kurze Bauart nicht. Zusätzlich sind CMOS-Sensoren sogenannte *Active Pixel* Sensoren, wodurch sich ein weiterer Vorteil ergibt. Bei einem *Active Pixel* Sensor wird das Spannungssignal eines jeden Pixels einzeln ausgelesen, wodurch z.B. weniger Blooming¹⁹ Effekte hervorgerufen werden.²⁰

Kennzeichnend für CMOS-Sensoren ist das auf der Sensoroberfläche befindliche Bayer-Muster. Das Bayer-Muster ist ein Farbfiltergitter, bestehend aus den drei RGB Grundfarben rot, grün und blau. Da sich im Gegensatz zum CCD-Sensor alle Farbkanäle auf nur einer Sensoroberfläche befinden, bestehen Kameras mit einem CMOS-Sensor aus nur einem Chip. Durch das Farbfiltergitter werden die helligkeitsempfindlichen Pixel, farbempfindlich. Dabei kann jedes auf dem Sensor befindliche Pixel nur die Farbinformation, des ihm zugewiesenen Farbkanals aufnehmen. (Abb. 7) Ist ein Sensor bspw. für rote Farbinformationen sensibilisiert, können auch nur diese verarbeitet werden. Farbinformationen anderer Farben, können diesen Pixel nicht durchdringen und „prallen“ von der Oberfläche ab. Auf dem Farbfiltergitter des Bayer-Musters befindet sich die doppelte Anzahl an grünen Pixeln, gegenüber den roten und blauen Pixeln. Pro Zeile sind ein blauer und ein grüner Pixel abwechselnd angeordnet. In der darauf folgenden Zeile sind wiederum ein grüner und ein roter Pixel im Wechsel. Dadurch entsteht ein Schachbrettmuster mit allen drei Farbkanälen. (Abb. 6)

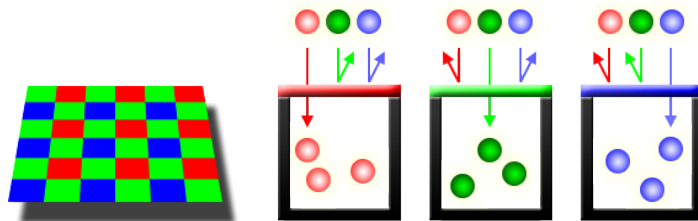


Abb. 6: Bayer-Muster eines CMOS-Sensors Abb. 7: Einzelne Pixeldarstellung für jeden Farbkanal ²¹

¹⁷ vgl. Pallister, Inka et al. : „digital media und HD“. Bockenheim, 2005. S.110

¹⁸ vgl. Schmidt, Ulrich: „Digitale Film- und Videotechnik“. München, 2011. S.183

¹⁹ *Blooming*: in der Digitalfotografie auftretender überbelichteter Fleck im Bild

²⁰ URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Active_Pixel_Sensor (abgerufen am 14.06.2013)

Für die Bevorzugung der grünen Pixel auf dem CMOS-Sensor gibt es verschiedene Gründe. Einerseits wurde herausgefunden, dass das menschliche Auge auf das grüne Farbspektrum sensibilisiert ist und somit aus den Grünanteilen die meisten Helligkeitsinformationen entnommen werden können. Des Weiteren dient der Grünanteil als Hauptparameter für die Schärfe- und Kontrastdarstellungen, denn 72% der Helligkeitsinformationen sind in den Grünanteilen enthalten. Der rote und blaue Farbkanal sind im Vergleich zu grün mit 21% und 7% für die Helligkeitsinformation von geringerer Bedeutung.²² Wie im Kapitel *Auflösungsvermögen des menschlichen Auges* genauer beschrieben wird, sind Helligkeitsunterschiede für das Sehen des Menschen wichtiger als Farbunterschiede.

Der große Nachteil am Bayer-Muster ist die nicht zufriedenstellende Farbdarstellung. Da jeder Bildpunkt nur die ihn zugewiesene Farbinformation aufnehmen kann, gehen weitere Farbinformation für diesen Bildpunkt verloren. Das bedeutet, dass fehlende Farbanteile nachträglich errechnet werden müssen. Dieser Vorgang wird als Interpolation oder DeBayering bezeichnet. Bei der Interpolation werden die fehlenden Farbinformationen aus den benachbarten Pixeln berechnet. Aufgrund der Verteilung und der unterschiedlichen Anzahl an Farbpixeln müssen 50% der Grüntöne und sogar 75% der Rot- und Blautöne errechnet werden.²³ Für dieses Vorgehen werden verschiedene Algorithmen verwendet, mit deren Hilfe möglichst naturgetreue Bilder errechnet werden sollen.

Bei der Interpolation wird angenommen, dass sich die Farbwerte von benachbarten Pixeln nicht gravierend unterscheiden. Da diese Annahme aber nicht zu 100% zutreffend ist, kommt es bei der Tonwertberechnung zwangsläufig zu Abweichungen zwischen dem realen und dem errechneten Bild, wodurch wiederum Farbartefakte wie z.B. Farbmoiré hervorgerufen werden können.²⁴ Streng genommen reduziert sich durch das zusammenführen der Pixel die Gesamtauflösung des Sensors auf ein Viertel der ursprünglich angegebenen Pixelzahl, da die echten Pixel erst aus den unechten Pixeln errechnet werden müssen. Dieser Aspekt ist für die Beurteilung der Auflösung besonders entscheidend. Laut *John Galt*, liegt ein echter Pixel nur dann vor, wenn jedes Pixel die volle Farbinformation aufnehmen und verarbeiten kann. Alle weiteren Pixel können als „marketing pixel“ verstanden werden, die die eigentliche Auflösungsqualität ver-

21 URL: <http://www.red.com/learn/red-101/bayer-sensor-strategy> (abgerufen am 14.06.2013)

22 URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor> (abgerufen am 21.06.2013)

23 ebenda (abgerufen am 21.06.2013)

24 URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor> (abgerufen am 21.06.2013)

heimlichen sollen.²⁵ Dieser Diskussionsansatz ist auch auf die 4K Auflösungsqualität zu übertragen. Wenn durch die Interpolation ein Großteil der Auflösung verloren geht, da keine echten Pixel vorliegen, ist die angegebene 4K Auflösung mancher Hersteller falsch. Leider versuchen auch bekannte Kamerahersteller wie *RED* sich die „marketing pixel“ zu Nutze zu machen. Der neue *RED Dragon* Sensor bspw. wird mit einer 6K Auflösung und 6144 x 3160 Pixel angegeben, was auf den ersten Blick ansprechend wirkt. Über die notwendige Interpolation des Materials aufgrund des vorhandenen Bayer-Musters, wird hingegen nichts erwähnt.

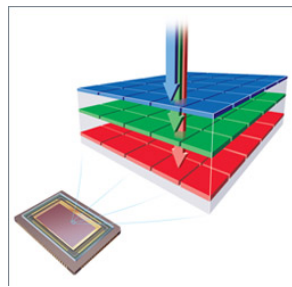
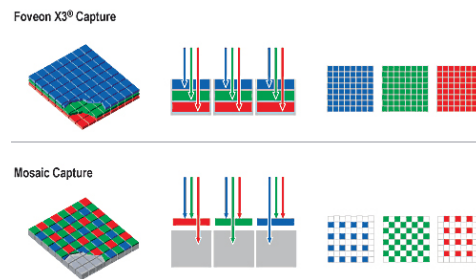
Der Kamerahersteller *ARRI* verfolgt mit den *Alexa* Modellen eine andere Herangehensweise. Bei der *Alexa* entschied sich der Hersteller bewusst gegen eine 4K Auflösung. Die *Alexa* kann maximal ein 2K Bild aufzunehmen, obwohl der verbaute *ALEV III* Sensor mit 3392x2200 Pixel deutlich mehr Bildpunkte zur Verfügung stellt. Auch hier liegt auf dem Sensor ein Bayer-Muster vor, da die Auflösung aber kameraintern runterskaliert wird, ergeben sich aus den interpolationsbedürftigen Farbpixeln, echte Pixel. Durch diese Skalierung wird dem DeBayering entgegen gewirkt.

Ein Bild das mit einer höheren Auflösung aufgenommen wird als benötigt, um später auf die gewünschte Bildgröße herunterskaliert zu werden, liefert eine bessere Bilddarstellung, als ein normal abgetastetes Bild.²⁶ Wenn es die Speicherkapazität ermöglicht, ist es stets von Vorteil das Material hochauflösender aufzunehmen als gefordert. Anschließend wird das bearbeitete Material im gewünschten Format ausgespielt. Dies ist vor allem bei *RED* Kameramodellen zu empfehlen, da hier der Bildsensor beschnitten wird, wenn sich die eingestellte Auflösung unterhalb der maximalen Pixelleistung befindet. Das bedeutet, dass nicht der gesamte Sensorbereich belichtet wird, sondern nur ein Teil. Zusätzlich verringert sich durch das Beschneiden des Sensors der Bildausschnitt.

Um den Nachteil der Interpolation seitens des Bayer-Musters zu umgehen, hat *Sigma* den *FoveonX3-Chip* entwickelt. Bei diesem Bildsensor befinden sich die Farbkanäle nicht nebeneinander, sondern übereinander auf der Sensoroberfläche. (*Abb. 8*)

²⁵ URL: http://library.creativecow.net/galt_john/John_Galt_2K_4K_Truth_About_Pixels/1 (abgerufen am 22.06.2013)

²⁶ Anmerkung: siehe Kapitel *Empirische Untersuchung zur Auflösungsleistung*

Abb.8: Schematische Darstellung Foveon X3-Chip²⁷Abb.9: Vergleich der Technologien: Foveon X3 vs. CMOS²⁸

Diese Technik ähnelt dem belichten eines Filmnegativs. Hierbei durchdringt das einfallende Licht ebenfalls übereinanderliegende Emulsionsschichten. Licht besteht je nach Lichtfarbe aus unterschiedlichen Wellenlängen. Langwelliges, rotes Licht durchdringt die meisten Schichten des Sensors und bildet die unterste Schicht des Bildsensors. Blau ist ein kurzwelliges Licht, weshalb sich die für blau benötigten Wellenlängen in der obersten Sensorschicht befinden.²⁹ Durch die unterschiedlichen Wellenlängen der Farben, erreichen die jeweiligen Wellenlängen, die dafür zugehörige Farbschicht. Auf diese Weise kann im Vergleich zum Bayer-Muster jedes Pixel die volle Farbinformation aufnehmen, da alle Wellenlängen jeden Pixel durchlaufen. Die Farbdarstellung übersteigt die der herkömmlichen CMOS-Sensoren mit Bayer-Muster. (Abb.9) Farbartefakte treten nicht in Erscheinung. *John Galt* würde die Pixel des *FoveonX3-Chips* als echte Pixel bezeichnen, da kein DeBayering erforderlich ist. Dementsprechend ist die native Auflösung grundsätzlich höher, als die der CMOS-Sensoren mit Bayer-Muster.

Ein generelles Problem von digitalen Bildsensoren sind auftretende Bildartefakte. Vor allem Moiré Effekte können den Bildeindruck erheblich stören. Moiré äußert sich durch starke Verzerrungen und wilden Mustern in feinen Strukturen, die in dem mit bloßem Auge erkennbaren realen Motiv nicht vorhanden sind. (Abb.10 + 11)

Abb.10: Typischer Moiré-Effekt: links Original, rechts Moiré durch die Kamera³¹Abb.11: Moiré in feinen Gebäudestrukturen³⁰

27 URL: <http://www.foveon.com/article.php?a=67> (abgerufen am 22.06.2013)

28 URL: <http://www.foveon.com/article.php?a=69> (abgerufen am 22.06.2013)

29 URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3, (abgerufen am 23.06.2013)

30 URL: <http://www.freedumb.net/img/corpicon.jpg> (abgerufen am 23.06.2013)

31 URL: <http://the-print-guide.blogspot.de/2009/12/moire.html> (abgerufen am 23.06.2013)

Besonders bei Kamera- oder Objektbewegungen fällt dieser Effekt störend ins Auge. Zurückzuführen ist Moiré auf die Pixelstruktur des Bildsensors und tritt deshalb nur in der digitalen Fotografie auf. Der Moiré-Effekt selbst ist von der Auflösung abhängig. Je hochauflösender ein Kamerasensor arbeitet, in desto feineren Strukturen tritt Moiré in Erscheinung.

Mit Tiefpassfiltern wird versucht diesem Problem entgegenzuwirken. Durch Tiefpassfilter werden bestimmte Frequenzen herausgefiltert, durch die der Moiré Effekt hervorgerufen wird. Der Nachteil an diesen Filtern besteht darin, dass das aufgenommene Bild durch den Filter unschärfer wird. Die Auflösung eines mit Tiefpassfilter ausgestatteten Bildsensors ist geringer, als die Auflösung eines Bildsensors ohne Tiefpassfilter. Dies kann bei einer 4K Auflösung dazu führen, dass die gewonnen Bilddetails durch den Filter bereits wieder herausgerechnet werden. Ziel sollte es demnach sein, Lösungen zu finden, die einen Tiefpassfilter überflüssig machen.

In diesem Kapitel wurde verdeutlicht, wie wichtig gute Kamerasensoren für die Bildqualität eines Filmes sind und wie stark sie das Bild beeinflussen. Leider erfüllen manche Sensoren bestimmter Hersteller, nicht die von ihnen angegebene Auflösungsqualität. Diese Erkenntnis ist wichtig, um 4K Angaben seitens der Industrie kritisch zu hinterfragen. Grundsätzlich gilt es zwischen echten und unechten Pixeln zu unterscheiden. Nicht nur innerhalb der verschiedenen Sensortechnologien gibt es verschiedenen Qualitätsmerkmale, sondern auch bei der internen Verarbeitung des Materials je nach Kameramodell. Einige Hersteller gehen behutsamer mit dem Faktor Auflösung um als andere. Das weitere vorantreiben der Auflösung führt zu der Annahme, dass die Bildqualität in erster Linie über die Auflösung definiert wird. Dadurch geraten andere wichtige Bildparameter in den Hintergrund. Neben der benötigten Auflösung sollte ein Sensor eine sehr gute Farbwiedergabe gewährleisten, um die aufgenommenen Signale möglichst realitätsnah wiedergeben zu können.

2.3 Auflösungsvermögen des menschlichen Auges

Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist ein entscheidender Faktor um Grenzbestimmungen für Auflösungen zu definieren. Denn das Auflösungsvermögen beschreibt in erster Linie die Fähigkeit einer Person, bei einem bestimmten Sehabstand zu einem Objekt z.B. einer Leinwand oder einem Fernseher, zwischen zwei nebeneinanderliegenden Punkten unterscheiden zu können. Solche Punkte können auf

Details oder Pixel im Bild übertragen werden. Zu Beginn jedoch erst einmal ein paar allgemeine Informationen zum menschlichen Auge.

Das Objektiv einer Kamera und das menschliche Auge funktionieren in vielerlei Hinsicht gleich. Je nach Helligkeitsbedingung reguliert das Auge automatisch den Lichteinfall auf die Netzhaut. Diese Funktion wird von der Iris des Auges übernommen, die wie eine Blende im Objektiv geöffnet und geschlossen werden kann.

Die Kontrastdarstellungen des menschlichen Auges übersteigen die Dynamikumfänge von aktuellen CMOS-Sensoren erheblich. So kann das Auge durch Adaption einen Kontrastumfang von bis zu 24 Blenden erreichen, wobei unter normalen Umständen ein Kontrastumfang zwischen 6-8 Blenden wahrgenommen wird.³² CMOS-Sensoren hingegen erreichen maximal Dynamikumfänge von bis zu 14 Blendenstufen. Des Weiteren können Helligkeitsunterschiede vom menschlichen Auge in dunklen Bildbereichen besser und differenzierter aufgelöst werden als in hellen Bildpartien.³³

Das menschliche Auge dient also in vielerlei Hinsicht als Kontrollmittel, um die Qualität eines aufgenommen Bildes zu beurteilen. Die meisten Grenzen im filmischen Bereich werden von unserem Auge auferlegt und definiert. Dies gilt vor allem für die Auflösung, in Hinblick auf das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges. Alles was das menschliche Auflösungsvermögen übersteigt, ist Information die im Grunde nicht benötigt wird. Ist die Grenzauflösung des menschlichen Auges jedoch unterfordert, so ergeben Auflösungssteigerungen Sinn.

*„Das Auge wird in einem Bild keinen Mangel an Schärfe wahrnehmen, wenn es nur von der Leistungsfähigkeit des Auges selbst abhängt, welche kleinsten Details erkannt werden können. Umgekehrt wird das Auge ein Bild als unscharf empfinden, wenn seine Leistungsfähigkeit deutlich unterfordert wird. **Das Auflösungsvermögen des Auges muss also unser Maßstab sein.**“³⁴ [Hervorhebung Autor]*

Das menschliche Auge besitzt auf der Netzhaut über 130 Millionen Sehzellen.³⁵ Diese lichtempfindlichen Rezeptoren werden in Stäbchen und Zapfen unterschieden. Ein Großteil der Sehzellen sind Stäbchen, die in erster Linie für die Helligkeitsunterscheidungen benötigt werden und darüber hinaus das Nachtsehen ermöglichen.³⁶ Aufgrund der überwiegenden Anzahl von Stäbchen reagieren Augen auf Helligkeitsunterschiede

³² vgl. Kiening, Hans: „4K und darüber“. FKT, 2010. Heft 3. S.94

³³ Anmerkung: siehe Kapitel *Der Kontrast- und Dynamikumfang*

³⁴ Nasse, H.H: „Schärfentiefe und Bokeh“. Carl Zeiss, 2010. S.19

³⁵ vgl. Waldruff, S.47

³⁶ vgl. Kiening: „4K und darüber“, S.94

sensibler, als auf Farbunterschiede.³⁷ Lediglich ca. 7 Millionen Sehzellen sind Zapfen und somit für das farbdifferenzierte Tagsehen verantwortlich.³⁸ Für das Auflösungsvermögen des Auges sind die Zapfen von großer Bedeutung, da sie sich hauptsächlich in der stäbchenfreien Netzhautgrube (*Fovea centralis*) befinden.³⁹ (Abb. 12+13)

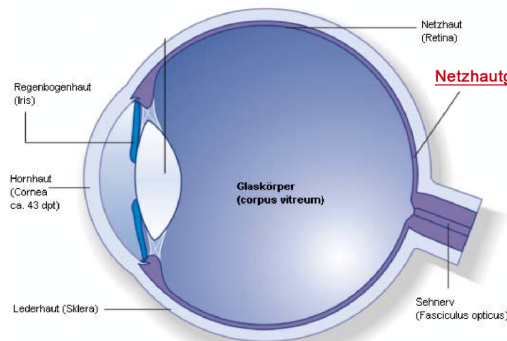


Abb. 12: Querschnitt des menschlichen Auges mit Netzhautgrube⁴⁰

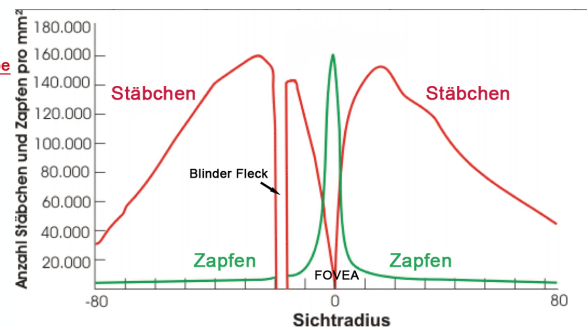


Abb. 13: Verhältnis der Zapfen und Stäbchen auf der Netzhaut⁴¹

In der Netzhautgrube befinden sich auf einem Quadratmillimeter fast 140.000 Sehzellen.⁴² Ähnlich einer hohen Pixeldichte auf dem Sensor stehen hier die Zapfen am dichtesten beieinander. Je dichter die Zapfen zusammen stehen, desto höher ist die Auflösungsleistung des Auges. Das bedeutet, dass ausschließlich in der Netzhautgrube des menschlichen Auges, aufgrund der hohen Zapfendichte und dem daraus resultierenden hohen Auflösungsvermögen, die maximale Sehschärfe ermittelt werden kann.

Ein Zapfen dient hierbei ähnlich wie ein Pixel dazu, eingehende Signale die über das Licht auf die Netzhaut treffen in Bildsignale umzuwandeln und weiterzuleiten. Im Gegensatz zur Pixeldichte eines Bildsensors nimmt die Rezeptorendichte im menschlichen Auge zum Rand hin ab, wodurch das Auflösungsvermögen und die daraus resultierende Sehschärfe ebenfalls am Rand des Sehfeldes abnehmen.⁴³ Ähnlich einer Vignettierung können die menschlichen Augen nicht das gesamte Sehfeld mit der gleichen Intensität darstellen. Zum Rand des Sehfeldes nehmen Schärfegrad und Helligkeit rapide ab. Der schärfste Bereich unseres Sehfeldes befindet sich in der Mitte und

³⁷ ebenda, S.94

³⁸ vgl. Waldruff, S.50

³⁹ ebenda, S.50

⁴⁰ URL: [http://www.zeiss.de/4125680F0055C122/GraphikTitelIntern/A8_1b/\\$File/A8_1b.jpg](http://www.zeiss.de/4125680F0055C122/GraphikTitelIntern/A8_1b/$File/A8_1b.jpg) (abgerufen am 22.05.2013)

⁴¹ URL: <http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-domik-static/SIMBA/farbmodelle/images/conesrods.gif> (abgerufen am 22.05.2013)

⁴² vgl. Kiening, Hans: „4K+ Systems“. ARRI, 2008. S.20

⁴³ Hedtke, Rolf: „HDTV ... und was kommt danach?“. FKT, 2013. Heft 4. S.157

beträgt ca. 40 Grad.⁴⁴ Der Rest des Sehfeldes wird eher unterbewusst wahrgenommen. Durch die Möglichkeit unsere Augen zu bewegen und den Fokuspunkt zu variieren, fällt dieser Aspekt allerdings weniger negativ ins Gewicht.

Sehen ist ein veränderlicher Prozess bei dem die Wahrnehmung vom Betrachtungsabstand abhängig ist.⁴⁵ Das bedeutet, dass sich das Auflösungsvermögen des Zuschauers je nach Sitzentfernung zur Leinwand, verändert. Je größer der Betrachtungsabstand ist, desto schwieriger ist es für das Auge, feine Details zu unterscheiden und aufzulösen. Um nun einen Richtwert für das Auflösungsvermögen zu ermitteln, wird der Wert des minimalen Seh winkels benötigt, unter dem zwei dicht nebeneinanderliegende Punkte, gerade noch differenziert voneinander wahrgenommen werden können.⁴⁶ Dieser Wert wird bestimmt von dem Mindestabstand zweier aneinanderliegender Zapfen in der Netzhautgrube. Da hier die Zapfen am dichtesten zusammen stehen, können Details in der Netzhautgrube auch am feinsten aufgelöst werden. So lange zwei Rezeptoren unterschiedliche Signale interpretieren können, so lang ist die Auflösungsgrenze noch nicht erreicht. Fallen jedoch zwei benachbarte Punkte auf nur einen Zapfen, können sie nicht mehr differenziert aufgelöst werden.⁴⁷ Die Auflösungsgrenze des Auges ist überschritten.

„Die maximale Auflösung zweier benachbarter Punkte ist dadurch gegeben, dass die Anregungen durch die beiden Sensoren noch unterscheidbar sein müssen.“⁴⁸

Eine genaue Aussage über das menschliche Sehvermögen zu treffen ist schwierig, da die individuelle Auflösungsgrenze von Person zu Person unterschiedlich ist. Genauso wie Menschen unterschiedlich gut bzw. schlecht hören können, muss auch bei der Sehleistung deutlich unterschieden werden. Als Richtwert für den minimalen Seh winkel des Auges wird unter guten Lichtbedingungen eine Winkelminute angegeben. 1 Winkelminute(1') oder auch als Bogenminute bezeichnet, entspricht dem Visus 1. (Tabelle 1)

⁴⁴ vgl. Nasse, S.13

⁴⁵ vgl. Waldruff, S.51

⁴⁶ ebenda, S.51

⁴⁷ ebenda, S.50

⁴⁸ Hedtke, S.157

Visus	Prozent (Sehschärfe)	Winkelsehschärfe	Abstandswinkel
1	100%	1'	1/60°
2	200%	0,5'	1/120°
0,5	50%	2'	1/30°

Tabelle 1: Verhältnis zwischen Visus und Winkelsehschärfe

Unter der Voraussetzung, dass das Auflösungsvermögen bei 1 Winkelminute (1') und nicht darunter oder darüber liegt, ist 1/60 Grad der kleinste Abstandswinkel, unter dem zwei benachbarte Punkte vom Auge als getrennt voneinander wahrgenommen werden können. Dies entspricht definitionsgemäß einer Sehschärfe von 100% ($\text{Visus} = 1,0$). Bei geringerer Sehschärfe wird der kleinste Abstandswinkel größer, d.h. bei gleicher Entfernung ist der Abstand zwischen 2 noch diskriminierbaren Punkten größer. Je nach Auflösungsvermögen der Augen verändert sich auch der Abstandswinkel. Vor allem junge Menschen verfügen häufig über eine Sehschärfe von über 100%, wodurch sich der minimale Abstandswinkel verringert. Beträgt die Sehschärfe bspw. 150%, so verkleinert sich der minimale Abstandswinkel auf 1/90 Grad.

Unter Berücksichtigung des Betrachtungsabstandes zum Medium, bestimmt die individuelle Sehleistung des menschlichen Auges, ab welcher Entfernung welches Auflösungsformat gerechtfertigt ist. Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Auflösungsformate vorgestellt, um einen generellen Überblick über die unterschiedlichen Charakteristika zu bekommen.

2.4 Die verschiedenen Auflösungsformate

Die Film- und Fernsehlandschaft ist geprägt von diversen Auflösungsformaten. Jedes Auflösungsformat besitzt eine spezifische Pixelanzahl, die gleichmäßig über das Bild verteilt ist. Durch die charakteristischen Pixelzahlen werden die Bilder je nach Auflösungsformat unterschiedlich gut aufgelöst. Wie im Kapitel *Das Pixel* bereits festgestellt wurde, beeinflusst die Pixelanzahl die Auflösungsqualität des Bildes. Je mehr Pixel einem Bild zur Verfügung stehen, desto detailreicher wird es unter Idealbedingung aufgelöst. Auch im Hinblick auf die Film- und Fernsehbranche gibt es kleine Unterscheidungen. Ist es in der Filmindustrie üblich 2K Aufnahmen zu verarbeiten und auszustrahlen, verwendet man in der Fernsehlandschaft hingegen das bekanntere Full HD Auflösungsformat. Qualitativ gibt es zwischen beiden Formaten kaum Unterschiede festzustellen, da 2K Auflösung mit 2048x1080 Pixel im Vergleich zur Full HD mit 1920x1080

Pixel lediglich über 6% mehr Pixel verfügt.⁴⁹ Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Arbeit, die jeweilige Angabe der Auflösung in *K* erfolgen. Hierfür orientiert man sich an der horizontalen Pixelzahl eines Bildes. Eine 2K Aufzeichnung, besitzt rund 2000 horizontale Pixel pro Zeile, eine 4K Aufzeichnung hingegen rund 4000 Pixel. Das *K* steht demnach für tausend und beschreibt die Pixelanzahl pro horizontaler Zeile. Die Angabe der vertikalen Pixel wird hierbei vernachlässigt, da diese je nach Bildseitenverhältnis stark variieren. Die horizontale Pixelanzahl verändert sich nicht und eignet sich demnach besser für eine konstante Auflösungsangabe.

Um die Bedeutung von 4K besser beurteilen zu können, ist es wichtig Kenntnisse über die bisherigen Auflösungsformate zu besitzen. Denn nur im Vergleich zu den vorherigen Auflösungsstandards kann eine Aussage über den eventuellen Qualitätssprung von 4K getroffen werden.

Die folgende Tabelle liefert einen Überblick zu den gängigsten Auflösungsformaten, unabhängig für welche Branche sie genutzt werden. Die Formate sind steigend nach ihrer Auflösungsqualität sortiert. Der Vollständigkeit halber, werden die Auflösungsformate in der Tabelle genauer unterschieden als im späteren Verlauf dieser Arbeit. Die zusätzliche Angabe in Megapixel (MP) soll verdeutlichen, wie rasant die Pixelmenge mit steigender Auflösung zunimmt:

	SD	HD Ready	Full HD	2K
Auflösungsformat	720x576px	1280x720px	1920x1080px	2048x1080px
Megapixel (MP)	0,41MP	0,92MP	2,07MP	2,21MP

	Ultra HD/UHD-1	4K	Ultra HD/UHD-2	8K
Auflösungsformat	3840x2160px	4096x2160px	7680x4320px	8192x4320px
Megapixel (MP)	8,29MP	8,85MP	33,18MP	35,39MP

Tabelle 2: Übersichtstabelle zu den verschiedenen Auflösungsformaten

2.4.1 Das SD Format

SD ist das Kürzel für die englische Bezeichnung: „*Standard Definition*.“ SD Signale waren über einen langen Zeitraum hinweg das standardisierte Übertragungsformat im

⁴⁹ URL: <http://magazine.creativecow.net/article/the-truth-about-2k-4k-the-future-of-pixels> (abgerufen am 15.05.2013)

Fernsehen. SD Auflösung bietet im Vergleich zu den anderen Auflösungen die schlechteste Auflösungsleistung. Die beiden bekanntesten SD Signale stellen das primär im europäischen Raum verwendete PAL Signal und das im angloamerikanischen Raum weit verbreitete NTSC Signal dar. Beide Signale werden üblicherweise im 4:3 Seitenverhältnis ausgestrahlt. Zusätzlich gibt es ebenfalls eine 16:9 Variante der SD Qualität. SD Signale werden auch heute noch in vielen Haushalten empfangen und durch das eigene TV-Gerät nachträglich hochskaliert. Die daraus entstehenden Signale sind qualitativ nicht mit einer HD Auflösung zu vergleichen.

2.4.2 HD Ready

Die Abkürzung HD stammt aus dem englischen „*High Definition*“ und bedeutet zu deutsch, hochauflösendes Fernsehen (*HDTV*). Aktuell werden in der deutschen Fernsehlandschaft zwei HD Formate ausgestrahlt: 720p und 1080i. Mittlerweile geht der Begriff HD sogar über diese beiden Auflösungsstandards hinaus. In Zukunft werden weit höher auflösende Formate unter dem Kürzel HD verstanden werden. HD Ready ist auch bekannt als das „kleine HD.“ Dieses Format stellt den ersten Schritt in Richtung hochauflösendes Fernsehen dar. Qualitativ ist HD Ready deutlich besser als das Standard Definition Fernsehen (SD). Das Besondere an diesem Format ist das veränderte Seitenverhältnis von 4:3 auf 16:9. Viele TV-Sender, darunter die ARD und das ZDF strahlen dieses Format aus, da es den Vorteil mit sich bringt 50 Vollbilder übertragen zu können, was besonders bei Sportereignissen mit schnellen Schwenks von Vorteil ist.⁵⁰

2.4.3 Full HD und 2K

Full HD soll wie der Name bereits vermuten lässt, die volle HD Auflösung gewährleisten. Mit seinen 1920x1080 Pixeln ist es aktuell das gängigste HD Format. Demnach stellt Full HD auch das Referenzformat im HD Bereich dar. Es bietet eine gegenüber SD bis zu 5 mal höhere Auflösung.⁵¹ Nicht nur im Fernsehen, auch auf BluRays und Internetplattformen hat sich Full HD zum standardisierten Auflösungsformat entwickelt, obwohl die qualitativen Vorteile im Vergleich zum kleineren HD Ready, zumindest im TV Bereich, umstritten sind.

⁵⁰ URL: <http://www.ard-digital.de/ARD-Digital/FAQ/HDTV---Format/HDTV---Format> (abgerufen am 09.05.2013)

⁵¹ vgl. Pallister, S.53

Ein Großteil der heutigen digitalen Kinoprojektionen finden wiederum in 2K Auflösung statt. Im Kino garantiert 2K die 2048 Pixel pro horizontaler Zeile. Wie bereits erwähnt sind die qualitativen Auflösungsunterschiede zum Full HD Signal jedoch recht gering, weshalb 2K als Überbegriff für diese beiden Auflösungsformate fungiert.

2.4.4 Ultra HD-1 und 4K

Ultra HD stellt das revolutionäre HD Format im Fernsehen dar. Zu Beginn bezeichnete nahezu jeder Hersteller das neue Format nach seinen individuellen Vorstellungen. Die zweifache Anzahl an Pixel in der horizontalen, sowie der vertikalen Ausrichtung, ergeben die vierfache Pixelanzahl im Vergleich zu Full HD. Daraus resultierte auch die Bezeichnung Quad HD. Um die Verwirrung der Konsumenten zu minimieren, einigte man sich auf die einheitliche Bezeichnung Ultra HD (*UHD*).⁵² Ultra HD gilt im TV Bereich als Überbegriff für Auflösungen mit 3840 oder gar 7680 Pixeln in horizontaler Ausrichtung. Aus diesem Grund wird Ultra HD in dieser Arbeit in UHD-1 und UHD-2 unterteilt. UHD-1 steht für die 4K ähnliche Auflösungsqualität, UHD-2 stattdessen für das 8K ähnliche Auflösungsformat.

Die 4K Auflösung symbolisiert im Kino das momentane Flaggschiff in der Auflösungsflotte. 4K ist das höchstauflösende Format in dem digital produzierte Filme aufgenommen und wiedergegeben werden können. Die Aufnahmetechniken selbst gehen bereits über 4K hinaus, jedoch sind entsprechende Wiedergabegeräte (*Projektoren und TV Geräte*) bisher nicht verfügbar. Ein in 4K Qualität vorliegendes Bild besitzt 4096 Pixel in der Breite und somit doppelt so viele Pixel wie die 2K Auflösung und geringfügig mehr als das Pendant der Fernsehindustrie, das Ultra HD-1 Signal mit 3840 Pixeln pro Zeile. Vereinzelte Kinosäle strahlen bereits in 4K Qualität aus. In der Fernsehbranche gilt der japanische Konzern *NHK* als Vorreiter. Das Ziel des japanischen Senders, ist die Ausstrahlung der Fußball Weltmeisterschaft 2014 in Brasilien in 4K bzw. Ultra HD-1 Qualität.

2.4.5 Ultra HD-2 und 8K

UHD-2 löst mit 7680x4320 Pixeln auf und soll das UHD-1 Signal ablösen. Dieses Format kann zum aktuellen Zeitpunkt jedoch vernachlässigt werden, denn bevor UHD-2 realisierbar und massentauglich ist, werden noch einige Jahre vergehen. Es gibt jedoch erste Bestrebungen UHD-1 direkt zu überspringen und mit UHD-2 fortzufahren.

⁵² URL: <http://www.netzwelt.de/news/94926-ultra-hd-4k-fernseher-bereits-erhaeltlich.html> (abgerufen am 12.05.2013)

Als realistisch kann dieses vorgehen jedoch nicht bezeichnet werden, da die Industrie auf diese Weise einen wichtigen Vermarktungsschritt auslassen würde.

Ähnlich zum UHD-2 Format steht 8K Aufnahmetechnik zum aktuellen Zeitpunkt nicht zur Verfügung. 8K Auflösung bedeutet für die Kinoprojektion 8192 Pixel in der horizontalen Ausrichtung. Das sind insgesamt 16mal so viele Bildinformationen wie bei einem 2K Bild. Mit der *Sony F65* gibt es bisher nur eine 4K Kamera die durch ein Update zu 8K Aufnahmen in der Lage sein soll. Vorreiter in diesem Segment ist ebenfalls der japanische Sender *NHK*. Dessen Planungen in 8K auszustrahlen beschränken sich aktuell auf das Jahr 2016.⁵³

Die folgende Grafik setzt die unterschiedlichen Auflösungsformate in ihrer Auflösungsqualität miteinander ins Verhältnis:

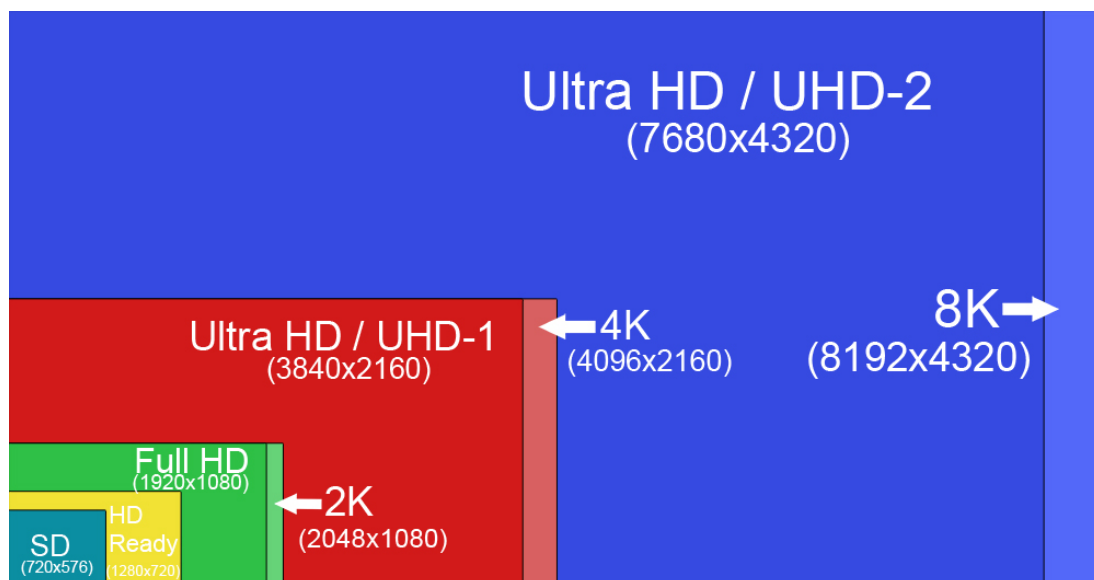


Abb. 14: Größenverhältnis verschiedener Auflösungen, bei gleicher Pixelgröße

Wie im Kapitel *Das Pixel* bereits dargelegt wurde, ist die Abbildungsqualität umso höher, je mehr Pixel vorhanden sind. So ist die Abbildungsleistung eines UHD-1 Bildes beispielsweise 4mal so hoch, wie die eines Full HD Bildes. Aus diesem Grund passt die grüne Bildfläche des Full HD Bildes viermal in die rot unterlegte Fläche des UHD-1 Bildes. Nicht zu verwechseln sind die Abbildungen mit der Sensorgröße einer digitalen Kamera, da diese sich nicht exponentiell mit der Auflösung steigert. Des Weiteren kann aus der Grafik entnommen werden, dass die Qualitätssprünge des Kinoformats, innerhalb eines Auflösungsstandards, im Vergleich zum Fernsehformat als sehr gering betrachtet werden können.

53 URL: <http://www.computerbase.de/news/2013-01/nhk-startet-8k-tv-ausstrahlung-bereits-ab-2016/> (abgerufen am 09.05.2013)

3 Wichtige Parameter der Bildgüte

In diesem Kapitel werden die für die Bildgüte entscheidenden Parameter aufgeführt und in ihrer Bedeutung für ein qualitativ hochwertiges Bild mit der Auflösung verglichen. Des Weiteren wird der praktische Nutzen einer höheren Auflösung näher definiert, um anschließend den Einfluss der Auflösung auf die Bildschärfe darzustellen.

3.1 Der Zusammenhang von Bildauflösung und Bildschärfe

Es wurde bereits dargelegt, dass die Bildauflösung über die Anzahl der Pixel in der horizontalen und vertikalen Richtung angegeben wird. Je mehr Pixel auf einer Pixelgrafik z.B. dem Frame eines Bewegtbildes zur Verfügung stehen, desto höher ist die Auflösung und die damit verbundene Detaildarstellung. Ein weiterer wichtiger Aspekt der mit erhöhter Auflösung in Verbindung gebracht wird, ist der steigende Schärfeeindruck. Vor allem die Unterhaltungsbranche versucht den Pixelzuwachs mit mehr Schärfe gleichzusetzen. Doch wie viel Wahrheit steckt hinter dieser Behauptung?

Um dies zu erörtern, ist es neben der natürlichen Auflösungsgrenze auch entscheidend zu wissen wo sich die technischen Auflösungsgrenzen befinden. Um die Auflösung zu messen wird ein Raster verwendet, auf dem Linien parallel zueinander angeordnet sind.⁵⁴ Als eine mögliche Option zur Auflösungsbestimmung verringert sich hierbei der Abstand der Linien kontinuierlich. Zum besseren Verständnis wurde in *Abb.15* ein reales Motiv mit diesen Rastereigenschaften dargestellt.



Abb.15: Realmotiv mit sich verdichtenden vertikalen Linien⁵⁵

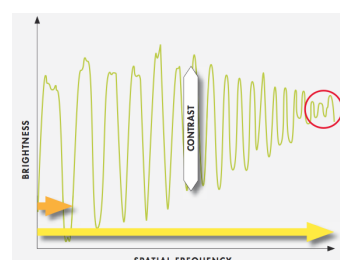


Abb.16: Kontrastveränderungen bei steigender Ortsfrequenz⁵⁶

⁵⁴ vgl. Kiening, Hans: „4K und mehr“. Film & TV Kameramann, 2007. Heft 9. S.73

⁵⁵ Kiening: „4K+ Systems“, S.5

⁵⁶ ebenda, S.5

Die Balken des Zaunes entsprechen in diesem Fall den Linien, die Abstände werden von den Lücken zwischen den Zaunbalken dargestellt. Aufgrund der gewählten Perspektive verringert sich der Abstand zwischen den Balken von links nach rechts.

Mit zunehmendem geringeren Abstand der Balken fällt es dem Betrachter schwerer, die Lücken und die Balken des Zaunes voneinander zu unterscheiden. Zusätzlich wirken die vertikalen Linien der Balken kontrastärmer und der Schärfeeindruck nimmt ab. In *Abb. 16* wird diese Feststellung grafisch dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass sich mit steigender Ortsfrequenz⁵⁷ die Periodenausschläge und somit die Helligkeits-, sowie die Kontrastwerte verringern. Um nun die in den hohen Ortsfrequenzen auftretenden feinen Detailunterschiede weiterhin darstellen zu können, wird eine möglichst hohe Auflösung benötigt. Der rote Kreis am Ende des periodischen Verlaufs in *Abb. 16* markiert letztendlich die Auflösungsgrenze des Bildes. Die Auflösungsgrenze ist der Punkt im Bild, an dem gerade noch zwischen einem Balken und einer Lücke unterschieden werden kann.⁵⁸ Ist dieser Punkt überschritten, wirkt das Bild verschwommen und flau. Zusätzlich können verschiedene Aliasing-Effekte⁵⁹ auftreten, die den Bildeindruck erheblich beeinträchtigen.

Gemessen wird die Auflösung in Linienpaaren pro mm (LP/mm)⁶⁰. Ein Linienpaar besteht aus einer Linie und der dazugehörigen Lücke. In *Abb. 15* wird ein solches Linienpaar von einem Zaunpfahl und der darauffolgenden Lücke dargestellt. Das gewählte Beispiel soll vereinfacht darstellen, worauf es bei der Auflösungsmessung ankommt. Die technische Auflösungsgrenze wird über die Anzahl der Linienpaare definiert, die ein Bildsensor in der Lage ist aufzulösen.

Betrachtet man nun erneut die grafische Darstellung in *Abb. 16* so fällt auf, dass der Kontrast in den niedrigen Ortsfrequenzen am höchsten ist. Niedrige Ortsfrequenzen befinden sich zwischen 0-20 LP/mm . Zusätzlich verringert sich das Schärfeempfinden in den höheren Ortsfrequenzen, also in den Bereichen in dem eine höhere Auflösung von großer Bedeutung ist. In den niedrigen Ortsfrequenzen hingegen wirkt die Abbildung kontrastreich und scharf, weshalb darauf geschlossen werden kann, dass für den Transport von Schärfe nicht die Auflösung entscheidend ist. Demnach sind für einen guten Schärfeeindruck nicht allein die darstellbaren Linienpaare von Bedeutung. Auch sind es nicht die feinen Details, die uns ein scharfes Bild vermitteln, sondern vielmehr

⁵⁷ Ortsfrequenz: Verdichtung der Linien

⁵⁸ vgl. Kiening: „4K und mehr“, S.73-74

⁵⁹ Alias: Störeffekt durch Überlagerung von Mustern oder Frequenzen

⁶⁰ vgl. Kiening: „4K und mehr“, S.74

die Kontraste in den groben Strukturen eines Bildes.⁶¹ Bereiche mit großen Kontrastunterschieden z.B. die Kanten zwischen den Balken und den Lücken sind solche groben Strukturen. Dies wird deutlich, wenn die folgende Darstellung betrachtet wird:

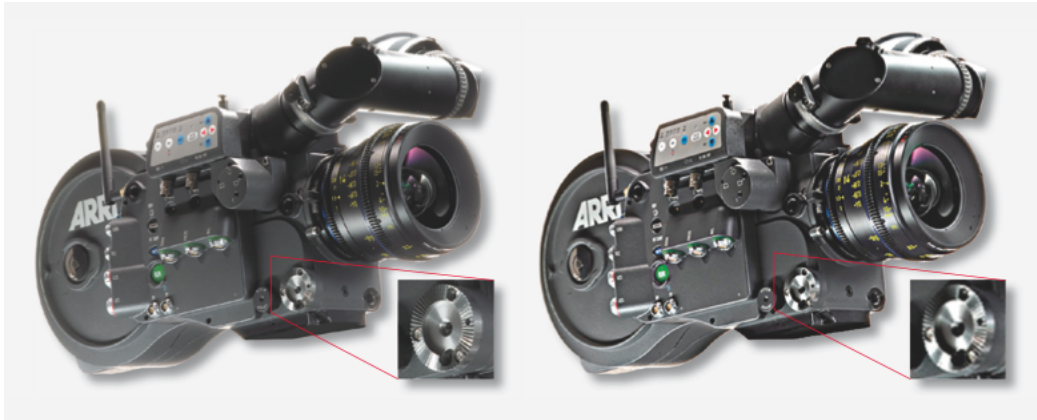


Abb. 17: Linke Kameraabbildung besitzt doppelte Pixelauflösung im Vergleich zur rechten.⁶²

Vergleicht man die beiden Kameraabbildungen miteinander so fällt auf, dass die rechte Abbildung deutlich schärfer wirkt als die linke Abbildung. Dabei ist die Auflösung des linken Bildes doppelt so hoch, wie die des rechten Bildes. Der Grund für diesen Eindruck ist der bereits angesprochene Kontrast. Dieser ist ein entscheidender Faktor für den subjektiven Schärfeeindruck innerhalb eines dargestellten Bildes. In der rechten Abbildung wurde der Kontrast in den groben Bilddetails verstärkt, wodurch die rechte Abbildung trotz der niedrigeren Auflösung schärfer erscheint.⁶³

Zusammengefasst lässt sich behaupten, dass Auflösung und Schärfe keinen direkten Einfluss aufeinander haben.⁶⁴ Sie gehören nicht unmittelbar zusammen. Nur aufgrund einer höheren Auflösung ist ein Bild nicht zwangsläufig schärfer. Die zusätzlichen Bild-details in den feineren Strukturen können bis zu einem bestimmten Punkt von unserem Auge wahrgenommen und verarbeitet werden, tragen aber nur geringfügig zum Schärfeeindruck bei. Sobald eine Abbildung das Auflösungsvermögen unseres Auges übersteigt, ist die zusätzliche Auflösungsqualität irrelevant, da sie vom Auge nicht länger wahrgenommen werden kann. Für eine bessere Bildschärfe ist ein hoher Kontrast in den niedrigen Ortsfrequenzen entscheidend. Denn je stärker der Kontrast ist, desto höher ist auch der Schärfeeindruck. Die tatsächliche Schärfe eines Bildes kann mit zu-

⁶¹ vgl. Kiening: „4K und mehr“, S.78

⁶² Kiening: „4K+ Systems“, S.8

⁶³ vgl. Kiening: „4K und mehr“, S.78

⁶⁴ ebenda, S.78

sätzlichem Kontrast jedoch nicht verbessert werden. Lediglich der subjektive Schärfeindruck wird verstärkt. Das Bild wirkt also schärfer, obwohl dies gar nicht der Fall ist.

Durch eine sogenannte MTF (*Modulations-Transfer-Funktion*) kann der Einfluss des Kontrast auf das Schärfeempfinden vereinfacht dargestellt werden:

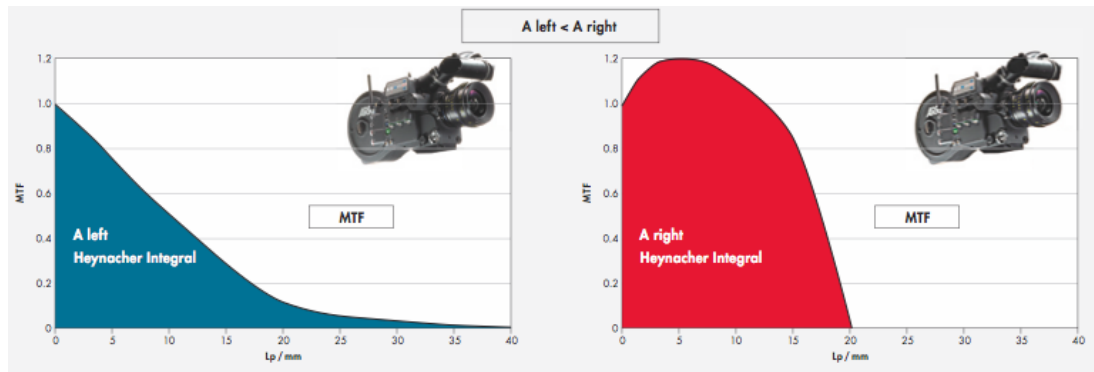


Abb. 18: MTF Darstellung der beiden Kameraabbildungen. Links geringeres Heynacher Integral als rechts. ⁶⁵

Bei einer MTF Darstellung werden mehrere Kontrastpunkte zusammengefasst und in einem Diagramm dargestellt.⁶⁶ Wird anschließend die Fläche unterhalb des Graphen betrachtet, können Aussagen über die Schärfewirkung eines Bildes getroffen werden. Die eingefärbte Fläche beschreibt das sogenannte Heynacher Integral. Das Heynacher Integral gibt vereinfacht ausgedrückt Auskunft über die Schärfe des Bildes. Je größer die Fläche unterhalb des Kurvenverlaufs ist, desto schärfer wirkt das Motiv auf den Betrachter.⁶⁷ Werden anschließend die beiden farblich gekennzeichneten Flächen miteinander verglichen, ist die rote Fläche der geringeren Auflösung mit erhöhtem Kontrast größer, als die bläuliche Fläche der höheren Auflösung mit einer geringeren Kontrastdarstellung. Somit wirkt aufgrund des höheren Kontrasts, die niedrigere Auflösung schärfer. Des Weiteren lässt sich aus den Grafiken ableiten, dass Ortsfrequenzen über 20 LP/mm für den Schärfeeindruck zu vernachlässigen sind. Schärfe entsteht nicht durch feinere Details sondern durch einen hohen Kontrast in groben Bildstrukturen und somit in niedrigen Ortsfrequenzen bis 20 LP/mm.

Die Auflösung hingegen hat in erster Linie Auswirkung auf die Detaildarstellung und somit auf den Betrachtungsabstand des Bildes. Je höher die Auflösungsqualität eines Fernsehers oder eines Projektors ist, desto geringer ist der benötigte Abstand zur Leinwand bzw. Bildschirm. Durch eine höhere Auflösung kann näher an die Projektionsfläche herangerückt werden, ohne das störende Pixelstrukturen zu erkennen sind. Denn

⁶⁵ Kiening: „4K+ Systems“, S.10

⁶⁶ vgl. Kiening: „4K und mehr“, S.79

⁶⁷ ebenda, S.80

eine höhere Pixelzahl bedeutet kleinere Pixel, die wiederum einen kleineren Abstand zueinander haben. Da ein Pixel das kleinste abzubildende Detail darstellt, können dadurch feinere Bilddetails aufgenommen und projiziert werden.

Die Angaben zur optimalen Sitzentfernungen variieren je nach Quelle um einige Zentimeter, was auf die unterschiedlichen Bedingungen zurück zu führen ist, unter denen ein Film betrachtet werden kann.

In der folgenden Tabelle ist ein Überblick zu den optimalen Betrachtungsabständen der verschiedenen Formate dargestellt. Der Abstand wird vereinfacht in Abhängigkeit von der Auflösung und der Leinwandhöhe errechnet.

Format	Pixelauflösung	Betrachtungsabstand	Betrachtungswinkel
SD	720x576	6-fache Abstand der Leinwandhöhe	13 Grad
2K/ Full HD	2048x1080 / 1920x1080	3,2-fache Abstand der Leinwandhöhe	31 Grad
4K / UHD-1	4096x2160 / 3840x2160	1,6-fache Abstand der Leinwandhöhe	58 Grad
8K / UHD-2	8192x4320 / 7680x4320	0,8-fache Abstand der Leinwandhöhe	96 Grad

Tabelle 3: Betrachtungsabstand und Betrachtungswinkel abhängig vom Auflösungsformat. ⁶⁸

Als Beispiel zur Berechnung der optimalen Sitzentfernung wird ein 50" Fernseher mit Full HD und UHD-1 Auflösung verwendet:

geg.: Bildschirmdiagonale (50") = 127cm, Bildbreite = 110cm, Bildhöhe = 62cm

ges.: Betrachtungsabstand (Full HD) = Bildhöhe x 3,2

$$62\text{cm} \times 3,2 = 198,4\text{cm}$$

Betrachtungsabstand (UHD-1) = Bildhöhe x 1,6

$$62\text{cm} \times 1,6 = 99,2\text{cm}$$

Der optimale Sitzabstand liegt bei einem 50" Fernseher, welcher Inhalte in Full HD Qualität wiedergeben kann bei ca. 2m. Unter der Voraussetzung das beim Bildmaterial eine Full HD Qualität mit mindestens 1920x1080 Pixel vorliegt. Liegt der Sitzabstand unterhalb der Mindestentfernung, fallen negative Pixelstrukturen ins Auge. Ist die Sit-

⁶⁸ vgl. Hedtke, S.158

zentfernung wiederum zu groß, gehen wertvolle Bilddetails verloren, da diese nicht mehr wahrgenommen werden können. Bei einem TV-Gerät mit einer 4K Auflösung halbiert sich der Betrachtungsabstand auf ca. 1m. Soll im Umkehrschluss der gewohnte Sitzabstand von 2m beibehalten werden, vergrößert sich die mögliche Bildschirmdiagonale bei einem 4K Signal auf 254cm bzw. 100" ohne das Pixelstrukturen vom Auge aufgelöst werden können.⁶⁹ Genau diesen Aspekt versucht sich die Unterhaltungsbranche zu nutze zu machen. Waren bisher die meisten Wohnzimmer zu klein, um die notwendigen Sitzabstände von Fernsehgeräten ab 75" zu erfüllen, ist dies mit der 4K Auflösung nun möglich. Ob sich der Konsument jedoch ein solch imposantes Gerät überhaupt ins Wohnzimmer stellen möchte, wird sich erst in Zukunft zeigen.

Die zusätzliche Detailauflösung bringt einen weiteren Vorteil mit sich. Durch den geringeren Betrachtungsabstand zum Medium, verändert sich wiederum der Betrachtungswinkel des Zuschauers. Der Betrachtungswinkel beschreibt, wie viel Grad unseres Sichtfeldes durch ein Bild eingenommen wird. Zu sehen anhand der roten Markierungen in Abb.19. Dieser Winkel vergrößert sich wenn die Diagonale eines Bildes steigt, oder wenn der Abstand zu einem Bild verkleinert wird.

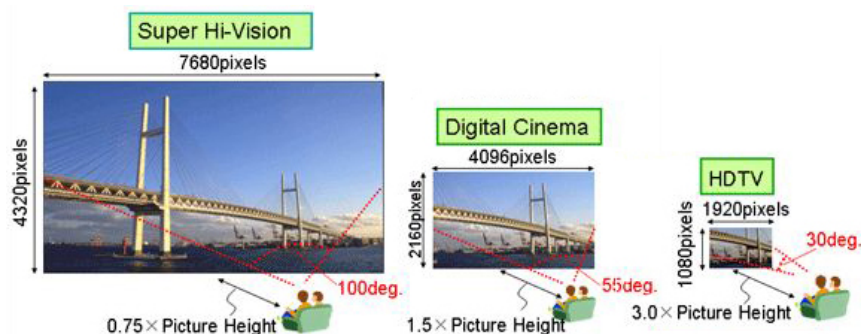


Abb. 19: Veranschaulichung der wachsenden Betrachtungswinkel bei steigender Auflösung.⁷⁰

Bei einem Wechsel von einem 2K zu einem 4K Medium und unter der Voraussetzung, dass der optimale Sitzabstand eingehalten wird, vergrößert sich der horizontale Betrachtungswinkel von 31 auf 58 Grad (Tabelle 3) bzw. von 30 auf 55 Grad. (Abb. 19) Der Anteil des Sichtfeldes der durch die größere Leinwand eingenommen wird steigt und löst im Zuschauer das „sense of being there“ Gefühl aus.⁷¹ Dieses subjektiv auftretende Gefühl bezweckt beim Zuschauer, Teil des auf der Leinwand dargestellten zu sein. Ähnlich wie bei einer großen Kinoleinwand kann der Zuschauer der eigenen Realität besser entfliehen und sich den fiktiven Welten hingeben. Das eigene Umfeld wird da-

⁶⁹ vgl. Hedtke, S.158

⁷⁰ URL: <http://www.bbc.co.uk/news/technology-19370582> (abgerufen am 08.05.2013)

⁷¹ vgl. Hedtke, S.158

durch weniger präsent wahrgenommen. Am intensivsten wirkt dieser Effekt bei einem Betrachtungswinkel von 80 Grad.⁷² Mit einer 4K Auflösung kann dieser Betrachtungswinkel zwar nicht erreicht werden, mit 55Grad erhöht sich der Betrachtungswinkel im Vergleich zur 2K Auflösung jedoch erheblich, wodurch eine Steigerung des Effekts hervorgerufen werden kann.

In diesem Kapitel wurde das Grundverständnis von Auflösung erläutert und über die fehlenden Parallelen von Auflösung und Bildschärfe gesprochen. Die Auflösung ist ein wichtiger Bildparameter, läuft jedoch Gefahr überbewertet zu werden. Die Qualität eines Bildes wird nicht ausschließlich über die verwendete Auflösung bestimmt. Auch andere Bildparameter sind elementar, um ein ansprechendes Bild zu erzeugen. Leider wird die Tragweite dieser Parameter und deren Einfluss auf die Bildqualität in der Regel vernachlässigt. In den folgenden Kapiteln werden weitere bildentscheidende Parameter erklärt und deren Einfluss auf die Bildgüte beschrieben. Dies ist notwendig, um die Rolle der Auflösung für ein anspruchsvolles Bild besser einordnen zu können. Des Weiteren werden Optionen und Vorschläge dargestellt, durch die die Bildqualität nachträglich verbessert werden kann.

3.2 Der Kontrast- und Dynamikumfang

Im Kapitel vorherigen Kapitel wurde bereits die Bedeutung des Kontrasts für das Schärfeempfinden dargestellt. In diesem Abschnitt soll nun der Einfluss des Dynamikumfangs auf die Bildgüte näher erläutert werden. Um dies zu verstehen, müssen im Vorfeld einige Begrifflichkeiten erläutert werden.

Jedes Motiv, ganz gleich ob ein Foto oder das Einzelbild einer Filmaufnahme, besitzt einen bestimmten Kontrast. Angegeben wird der Kontrast mittels des Kontrastumfangs.

„Das Verhältnis zwischen dem hellsten und dem dunkelsten (bildwichtigen) Motivteil - also der maximale Kontrast eines Motivs - wird als Kontrastumfang bezeichnet.“⁷³

Der Kontrastumfang ergibt sich demnach aus dem Verhältnis der hellsten bis zur dunkelsten Bildinformation eines Motivs. Sind z.B. die Helligkeitsunterschiede im Bild gering, ist auch der Kontrastumfang reduziert. Sind die Motivkontraste, also die Helligkeitsunterschiede innerhalb eines Bildes jedoch sehr groß, sind Kontrastumfänge von

⁷² vgl. Hedtke, S.158

⁷³ URL: <http://www.unfoto.de/handbuch/belichtung/kontrast.php> (abgerufen am 13.05.2013)

20 Blendenstufen keine Seltenheit. Je nach Lichtsituation fällt der Kontrastumfang also unterschiedlich stark aus.

Das menschliche Auge ist in der Lage solch große Kontrastunterschiede problemlos aufzulösen, Kamerasensoren hingegen stoßen deutlich schneller an ihre Grenzen. An diesem Punkt ist der Dynamikumfang entscheidend. Als Dynamikumfang wird die kamerainterne Kontrastdarstellung bezeichnet. Je nach Sensortyp und Modell ist der Dynamikumfang einer Kamera unterschiedlich groß. Der Hauptanteil der digitalen Sensoren ist in der Lage maximal zwischen 6-8 Blendenstufen zu unterscheiden. Nur die Spitzenmodelle der Hersteller erreichen deutlich höhere Werte. So wird die *Alexa*, eine digitale Filmkamera des Herstellers *ARRI*, mit einem Dynamikumfang von bis zu 14 Blendenstufen angegeben.⁷⁴ Je besser der Dynamikbereich des Kamerasensors, desto mehr Helligkeitsinformationen können in den Spitzlichtern und in den Schatten aufgenommen und unterschieden werden. Um die unter Realbedingung auftretenden maximalen Kontrastverhältnisse darstellen zu können, ist jedoch keines der aktuellen Kameramodelle ausreichend. In diesem Fall übersteigt der Motivkontrast, den Dynamikumfang der Kamera. Ist der Dynamikumfang eines Kamerasensors zu gering um alle Tonwerte darzustellen, so verlieren vor allem die hellen oder dunklen Bildbereiche an Zeichnung. Dieser Effekt wird als „*Clipping*“ bezeichnet.⁷⁵ Helle Bildpartien die außerhalb des Dynamikumfangs der Kamera liegen brennen aus. Sie enthalten keinerlei Bildinformationen und sind im Bild als weiße Flecke ohne Struktur zu erkennen. (Abb.20) In der späteren Nachbearbeitung kann aus diesen Bereichen keinerlei Information mehr gewonnen werden.



Abb.20: Links: *Clipping* in den Wolken, rechts: Mehr Zeichnung in den Wolken auf Kosten von Details in den dunklen Bereichen

Umgekehrt führt bei einem geringen Dynamikumfang die Belichtung auf hellere Bildbereiche an den dunklen Bildstellen zum Verlust von wertvollen Bilddetails. Dadurch ist es

⁷⁴ vgl. Kraus, Franz: „Arri, Alexa und 4k“. FKT, 2013. Heft 4. S.165

⁷⁵ URL: <http://www.unfoto.de/handbuch/belichtung/kontrast.php> (abgerufen am 13.05.2013)

nicht möglich die verschiedenen Schwarzwerte zu differenzieren. Das Bild wirkt auf den Betrachter flächig und verliert dadurch seine filmische Wirkung.⁷⁶

Im Gegensatz zu den verloren gegangenen hellen Bildpartien können die dunklen Bildbereiche, in der Postproduktion durch Anhebung der Schatten verbessert werden. Aus diesem Grund wird eine leichte Unterbelichtung einer Überbelichtung vorgezogen. Die technischen Möglichkeiten sind jedoch auch dabei begrenzt, da die nachträgliche Aufhellung der Schatten das Bildrauschen in den zu bearbeiteten Bereichen verstärkt. Somit ist die Belichtung des Materials des öfteren mit Kompromissen behaftet, wodurch der Filmschaffende in seinen Möglichkeiten eingeschränkt wird.

Da das menschliche Auge wie bereits erwähnt zu weit größeren Kontrastunterscheidungen fähig ist, bietet es sich an den Dynamikbereich der Kamerasensoren zu optimieren und somit die Bildgüte nachträglich zu verbessern. Um dies zu erreichen könnte ein aus der Fotografie bekanntes Verfahren genutzt werden, die sogenannte HDR Fotografie. HDR ist die Abkürzung für „*High Dynamic Range*“ und bedeutet übersetzt, Bilder mit einem hohen Dynamikumfang. Diese werden auch als Hochkontrastbilder bezeichnet.⁷⁷ HDR Bilder werden aus mindestens zwei, in einer Belichtungsreihe aufgenommenen, Bildern zusammengesetzt. Eine Belichtungsreihe besteht aus Fotos, die mit unterschiedlicher Belichtungszeit aufgenommen werden. (Abb. 21) Dadurch entstehen je nach Belichtungszeit über- und unterbelichtete Fotos.

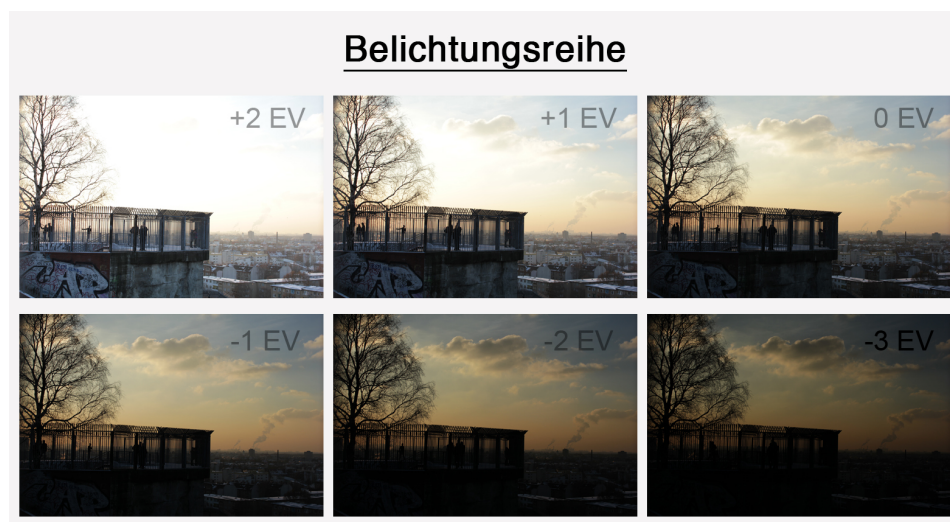


Abb. 21: Eigene Belichtungsreihe von 2 Blenden Überbelichtung bis 3 Blenden Unterbelichtung

Je höher die Bildanzahl innerhalb einer Belichtungsreihe ist, desto größer ist letztendlich der Kontrastumfang des HDR Bildes. In den Motiven mit überbelichteten Bereichen (+2EV/+1EV) ist keine bzw. wenig Struktur in den Wolken zu erkennen. Dafür sind die

⁷⁶ vgl. Kraus: „Arri, Alexa und 4k“, S.164

⁷⁷ vgl. Kraus, Franz: „Wohin geht die Reise?“. film-tv-video, 2013. S.7

dunklen Bildbereiche mit mehr Zeichnung versehen und es können wertvolle Details erkannt werden. Bei den unterbelichteten Motiven ($-1EV/-2EV/-3EV$) ist dieser Effekt genau umgekehrt. Fügt man die Belichtungsreihe nun zu einem HDR Motiv zusammen, sind in allen Motivbereichen ausreichend Bildinformationen vorhanden. Das Bild umfasst einen deutlich höheren Kontrastumfang als der Dynamikumfang der Kamera und ist für unser Auge dennoch zu erkennen. (Abb.22)



Abb.22: Aus mehreren Einzelbildern zusammengesetztes HDR Motiv

Wird diese Technologie auf Videoaufnahmen übertragen, eröffnen sich neue Möglichkeiten in der Kontrastdarstellung der jeweiligen Szene. Die Sehgewohnheiten der Betrachter werden mit neuen Sinneseindrücken konfrontiert. Da die Bilder deutlich mehr Informationen enthalten, die für jeden in den Lichtern und Schatten zu erkennen sind, kann dies bei der Bildkomposition und dem Bildaufbau berücksichtigt werden. Denn mehr Information bedeutet in der Regel mehr Möglichkeiten. Zusätzlich nähert man sich durch einen höheren Dynamikumfang den Kontrastumfängen der Augen, wodurch realistischere Abbildungen möglich sind. Pionierarbeit leistete hierbei das aus San Francisco stammende Produktionshaus „Soviet Montage“.⁷⁸

In ihrem ersten HDR Video wurden die Fotos von zwei DSLR Kameras zu einem Video zusammengefügt. Dafür wurde je eine Kamera für die überbelichteten und eine Kamera für die unterbelichteten Fotos verwendet. Entstanden ist ein 57 Sekunden andauernder Clip, der die Möglichkeiten von HDR optimal darstellt. (Abb.23)

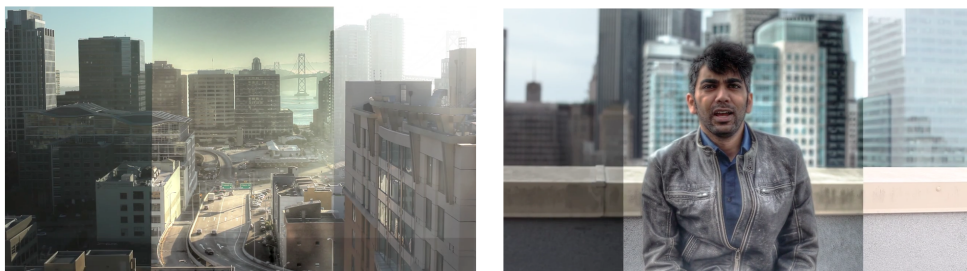


Abb.23: Beispiele aus einem HDR Video: links(überbelichtet), Mitte(zusammengesetzt), rechts(überbelichtet)⁷⁹

⁷⁸ URL: <http://www.sovietmontage.com> (abgerufen am 29.05.2013)

In der Mitte der beiden Beispielbilder ist jeweils das HDR Bild zu erkennen. Auffällig hierbei ist in erster Linie der gewonnene Kontrast aufgrund des höheren Kontrastumfangs. Ebenfalls wirkt sich der Kontrast auf die Schärfe des Bildes aus. Das Bild wirkt klarer und enthält deutlich mehr Bildinformationen in den dunklen und hellen Bildbereichen. *John Galt* Vizepräsident für *digital imageing* des *Panavision* Unternehmens in Kalifornien, greift ebenfalls den HDR Aspekt auf und berichtet von der Entwicklung eines Sensors, welcher gleichzeitig 6 Motive mit unterschiedlichen Belichtungszeiten aufnehmen kann. Der *Dynamax-35* Sensor sei ein echter 4K Sensor, da er für jeden Farbkanal 4000px besitzt und diese nicht interpoliert.⁸⁰ Des Weiteren teilt er die Auffassung, dass eine höhere Auflösung von sekundärer Bedeutung ist und dass die Bildgüte über einen höheren Dynamikbereich mehr profitieren würde, aufgrund der gewonnenen Details in den Lichtern und Schatten.

"No, I don't want higher resolution; I'd just have to sit closer to the screen. But yeah I'd like to have more shadow detail, I'd like to have more highlight detail."

John Galt hinterfragt die Herangehensweise der Industrie und einiger Kamerahersteller wie *RED*, die mit zusätzlichen Pixeln versuchen ihre Absätze zu steigern. Auch im Unternehmen der *ARRI AG* betrachtet man die aktuelle Entwicklung mit einem eher kritischen Auge:

„Lieber bessere Pixel als mehr Pixel.“⁸¹

Der Belichtungsspielraum ist *ARRI* wichtiger als die Auflösung.⁸² Dieser Ansatzpunkt ist ein weiteres Indiz dafür, dass mehr Pixel nicht den optimalen Weg zu einer besseren Bildqualität ebnen. Anstelle von Umsatzzahlen sollte vielmehr ein qualitativ hochwertiges Bild im Vordergrund stehen.

Mit der Steigerung des Dynamikumfangs wurde eine erste Möglichkeit vorgestellt, um die großen Kontrastumfänge in anspruchsvollen Motiven besser darstellen zu können. Die Verwendung der HDR Technik ist eine mögliche Option dies zu erreichen. Der Vorteil der Hochkontrastbilder liegt vor allem darin begründet, dass im Gegensatz zur 4K Auflösung, auch bei Zuschauern ohne technisches Hintergrundwissen ein höheres Qualitätsempfinden hervorgerufen wird.⁸³ In dem Ausbau des Dynamikumfangs der Ka-

79 URL: <https://vimeo.com/14821961> (abgerufen am 29.05.2013)

80 URL: <http://magazine.creativecow.net/article/the-truth-about-2k-4k-the-future-of-pixels> (abgerufen am 15.05.2013)

81 Lossau, Jürgen: „Arri Alexa XT Modelle vorgestellt“. Zoom, 2013. Heft 3. S.9

82 ebenda, S.9

83 vgl. Kraus: „Wohin geht die Reise“, S.7

meras steckt ein hohes Potenzial, welches in Zukunft besser genutzt werden sollte. Im nächsten Kapitel wird ein weiteres Verfahren vorgestellt, welches zu einer Bildoptimierung führen könnte und bereits vereinzelt zum Einsatz kommt.

3.3 Die Bildrate

Mit dem HDR Verfahren wurde im vorherigen Kapitel eine erste Möglichkeit vorgestellt, mit der sich die Bildqualität merklich und für jeden ersichtlich, verbessern lässt. Ein weiterer Aspekt zur Qualitätssteigerung des Bildes vor allem in Anbetracht auf die Bildschärfe, ist die Bildrate. Historisch bedingt liegt diese bei Kinospielelfilmen seit den 1920er Jahren bei 24 Bildern pro Sekunde (B/s).⁸⁴ Das bedeutet, dass innerhalb einer Sekunde 24 Einzelbilder belichtet werden. Ein Film besteht im Grunde aus einer Vielzahl von Einzelbildern, welche später in einer bestimmten Geschwindigkeit abgespielt werden, um den Betrachter eine flüssige Bewegung zu simulieren. Man entschied sich für diese Bildrate aus zweierlei Gründen. Zum einen liegt dem ein technischer Aspekt zu Grunde, denn bei 24B/s konnte die Tonspur auf dem Filmnegativ untergebracht werden, ohne dass es zu Komplikationen bei der Wiedergabe kam.⁸⁵ Zum anderen war und ist der wirtschaftliche Faktor, wohl der Hauptgrund weshalb sich 24B/s bei analogen Filmaufnahmen durchgesetzt haben. 24B/s ist die langsamste Abspielgeschwindigkeit bei der dem menschlichen Auge, aufgrund seiner Trägheit, ein flüssiges Bild simuliert werden kann. Da jede Minute belichtetes Filmmaterial sehr kostenintensiv ist, werden durch die langsamere Bildrate erhebliche Kosten für Filmmaterial eingespart.⁸⁶ Aufgrund dieses einerseits recht wirtschaftlichen und andererseits technisch notwendigen Aspektes avancierten 24B/s in den letzten 90 Jahren zum Produktionsstandard von Spielfilmen. Leider sind 24B/s eine recht langsame Bildrate. Bereits bei verhältnismäßig ruhigen Kamera- oder Objektbewegungen entstehen sogenannte Bewegungsunschärfen. Durch die Bewegungsunschärfe sinkt wiederum die Abbildungsqualität des Bildes, da bewegende Objekte nicht scharf abgebildet werden können. Es entstehen Unschärfen, die sich durch Schlieren im Bild äußern. (Abb. 24)

84 URL: <http://www.mebucom.de/archiv-detail/items/weichere-bewegungen-mit-hoeherer-bildrate-.html> (abgerufen am 16.05.2013)

85 URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/24p> (abgerufen am 16.05.2013)

86 vgl. Pallister, S.98



Abb. 24: Beispiele für Bewegungsunschärfen ^{87/88}

Nun haben sich über die Jahrzehnte die Sehgewohnheiten der Menschen mit den vorhandenen Bewegungsunschärfen der Filme arrangiert. Ein Bild mit Bewegungsunschärfen, also eigentlich ein Bild mit einem gewissen Defekt, wirkt auf den Betrachter angenehm. Es widerspricht dem was die Zuschauer vom Fernsehen kennen, weshalb die Bildrate von 24B/s auch als wesentlicher Bestandteil des Filmlooks betrachtet wird. Inhaltlich sind 24B/s jedoch in Anbetracht auf Schnitttempo und Schnittrhythmus, nicht mehr zu begründen.⁸⁹ Heutige Spielfilme sind in der Regel geprägt von rasanten Kameraschwenks, verwackelten Kamerabewegungen und einem zügigen Schnittrhythmus. Dafür sind 24B/s nicht ausgelegt. Die schnellen Kamera- und Objektbewegungen verstärken die Bewegungsunschärfen und machen ein angenehmes Sehen unmöglich. Speziell auf großer Leinwand führen schnelle Bewegungen zu flackernden und zitternden Bildern, wodurch die Qualität des Bildes erheblich reduziert wird.⁹⁰

„Eine unzureichende Bewegungsauflösung führt zu Shutter-Effekten, reduzierter Detailauflösung und einer Deformation von Objekten, die in Verbindung aufgenommen wurden.“⁹¹

Bewegungsunschärfen und andere Störeffekte vergrößern sich mit steigender Leinwandgröße, da sich der Betrachtungswinkel der Störbewegung und somit der Bewegungsunschärfe ebenfalls vergrößert.⁹² (Abb. 25)

87 URL: <http://smashinghub.com/wp-content/uploads/2011/03/motion-blur-photos-34.png> (abgerufen am 16.05.2013)

88 URL: <http://www.digitaler-fotokurs.de/Grafik/Zeit-Blende/VW-Kaefer-Cabrio.jpg> (abgerufen am 16.05.2013)

89 Kraus: „Arri, Alexa und 4k“, S.164

90 URL: <http://www.mebucom.de/archiv-detail/items/weichere-bewegungen-mit-hoeherer-bildrate-.html> (abgerufen am 16.05.2013)

91 ebenda, URL

92 vgl. Hedkte, S.160

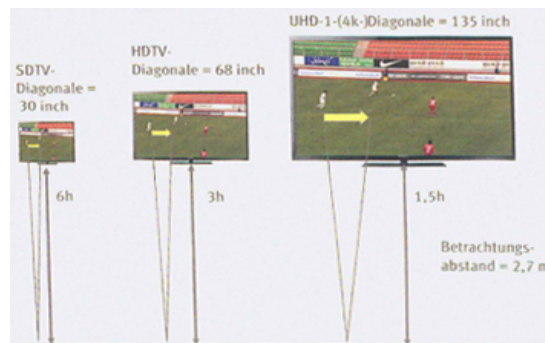
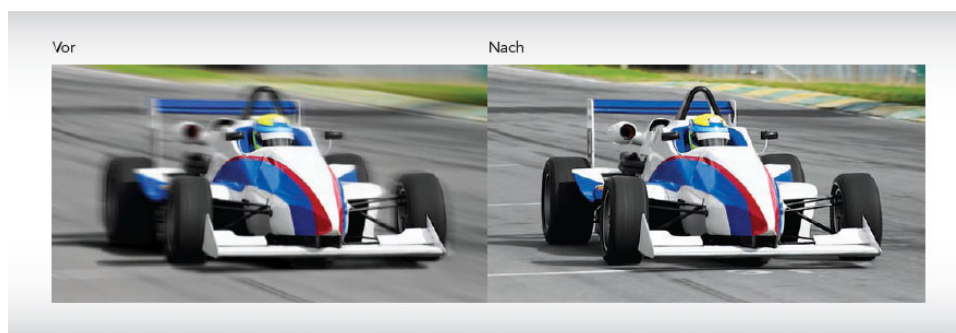


Abb.25: Größere Störeffekte bei steigender Bildschirmdiagonale

Um die Bewegungsunschärfen eines Bildes unabhängig von der Leinwandgröße grundsätzlich zu verringern, bietet es sich an die Bildrate zu erhöhen. Dieser Vorgang wird als *HFR*-Verfahren bezeichnet. HFR ist das Akronym zu *Higher-Frame-Rate*, zu deutsch: *Höhere Bildrate*. Erhöht sich die Bildrate, werden innerhalb einer Sekunde mehr Bilder aufgenommen, wodurch sich auch die Belichtungszeit der Einzelbilder reduziert. Als erster Schritt wird eine Verdopplung der üblichen 24B/s auf 48B/s angestrebt. Durch die höhere Bildrate reduzieren sich Bewegungsunschärfen, was eine schärfere Abbildung bei Objekt- oder Kamerabewegungen ermöglicht. (Abb.26)

Abb.26: Linkes Bild mit 24B/s aufgenommen, rechtes Bild mit 48B/s⁹³

Das rechte Einzelbild aus Abb.26 stammt aus einer mit 48B/s gefilmten Sequenz. Dieses Bild wirkt auf den Betrachter deutlich klarer und schärfer. Die Abnahme der Bewegungsunschärfe kommt dadurch zu Stande, dass der Shutter der Kamera für jedes Einzelbild eine kürzere Verschlusszeit bereitstellt. Jedes Bild wird also einen kürzeren Zeitraum belichtet, wodurch sich das bewegende Objekt weniger fortbewegen kann und dadurch weniger Unschärfe hervorruft.

Der Qualitätssprung der durch das HFR-Verfahren erzielt werden kann ist in Anbetracht auf die Schärfewirkung massiv. Störende Effekte und flackernde Bilder werden deutlich reduziert und das Bild wirkt realistischer. Ermöglicht wird dieses Verfahren durch digitale Filmkameras, welche in der Lage sind, die Bildrate kameraintern beliebig zu verän-

93 URL: <http://www.film-tv-video.de/newsdetail+M53e0237fa43.html> (abgerufen am 16.05.2013)

dern, ohne dass Zusatzkosten anfallen. Dadurch hat sich auch aus produktionstechnischer Sicht der Grund mit 24B/s drehen zu müssen relativiert. Im Gegensatz zu den analogen Aufzeichnungsmöglichkeiten, entstehen beim digitalen Aufzeichnen durch höhere Bildraten wie bspw. 48B/s keine finanziellen Zusatzbelastungen. Lediglich die Datenmengen erhöhen sich durch die höhere Bildrate. Das heißt, dass der Nutzung einer höheren Bildrate im Grunde nichts im Wege steht. Dennoch wird die HFR-Technik auf dem Filmmarkt bisher kaum genutzt. Das letzte und gleichzeitig erste internationale Projekt, welches im HFR-Verfahren realisiert wurde, ist *Peter Jacksons* Trilogie „*Der Hobbit*“. Beim Publikum und zahlreichen Kritikern stießen die zusätzlichen Bilder auf relativ große Ablehnung. Grund dafür sind in erster Linie die reduzierten Bewegungsunschärfen, die sich über die letzten Jahrzehnte als fester Bestandteil des filmischen Looks etabliert haben. Das Realitätsempfinden des Gesehenen steigt, da die schnellere Bildrate sich dem Sehverhalten des menschlichen Auges annähert. Das menschliche Auge ist in der Lage bis zu 55 Einzelbilder innerhalb einer Sekunde zu unterscheiden.⁹⁴ Eine Bildrate von 48B/s entspricht somit einer deutlichen Annäherung an die Leistungsfähigkeit des Auges.

Eventuell findet die HFR-Technik bei jüngerem Publikum eine höhere Akzeptanz. Junge Menschen sind weniger vom bisherigen Filmlook beeinflusst und Neuerungen gegenüber weniger skeptisch. Zumal die höheren Bildraten dem Look vieler Computerspiele ähnlicher werden. Sehgewohnheiten entstehen und verändern sich nicht über Nacht, weshalb eine gewisse Skepsis den höheren Bildraten gegenüber vollkommen legitim ist.

Die Diskussion um HFR Inhalte geht sogar über 48B/s hinaus. Der Regisseur *James Cameron* plant die „*Avatar*“ Nachfolger mit 60B/s realisieren.⁹⁵ Es würden also zweieinhalb mal so viele Bilder innerhalb einer Sekunde aufgenommen werden, als dies bei 24B/s der Fall ist. Bewegungsunschärfen wären nahezu nicht mehr vorhanden und dem Zuschauer würde sich ein kristallklares, scharfes Bild präsentieren ohne flackern und zittern. Mit 60B/s würde man die maximale Einzelauf Auflösung des menschlichen Auges erstmals in einem Kinofilm überschreiten. Andere Bewegungsartefakte werden reduziert und weniger intensiv wahrgenommen. Aus diesem Grund eignet sich das HFR-Verfahren besonders für 3D Produktionen. Durch die höhere Bildanzahl innerhalb einer Sekunde, wird das Auge weniger stark belastet und Ermüdungs- sowie Überbe-

94 URL: <https://www.facebook.com/notes/peter-jackson/qa-on-hfr-3d/10151299493836558> (abgerufen am 21.05.2013)

95 URL: <http://www.redsharknews.com/technology/item/190-the-great-framerate-debate-part-1> (abgerufen am 29.05.2013)

lastungserscheinungen reduziert.⁹⁶ 3D Filme mit HFR Technologie sind somit verträglicher für die Augen. Dieser Aspekt könnte in Zukunft wieder vermehrt Zuschauer in die 3D Filme locken, da ein Hauptargument, das gegen stereoskopische Inhalte spricht, die Unverträglichkeit für das menschliche Auge ist. HFR bietet einen deutlichen Qualitätssprung wenn es um die Bilddarstellung geht. Durch die zusätzlichen Bilder egal ob mit 48, 60, 72, 96 oder sogar 120B/s werden mit jedem Schritt die Bewegungsunschärfen und weitere Bildfehler reduziert. Die Akzeptanz der Zuschauer wird sich langsam aber stetig vergrößern. Jede Neuerung ist mit einer gewissen Skepsis behaftet, ändert sie doch jenes, das dem Zuschauer bis dahin als zufriedenstellend galt. Durch die Digitalisierung entstehen neue Möglichkeiten, welche genutzt werden sollten, um dem Ziel eines optimalen Bildes näher zu kommen. Eine höhere Bildrate gehört definitiv dazu, denn im Gegensatz zur 4K Auflösung ist der Schärfenzuwachs bei HFR für jeden ersichtlich, ganz egal wo er sich im Kinosaal befindet oder wie weit er vom eigenen Fernseher entfernt sitzt.

Bisher wurden verschiedene Optionen dargelegt, mit denen ein Qualitätssprung im Bild erzielt werden kann. Ursprung eines jeden bildverbessernden Parameters, ist jedoch das menschliche Auge. In erster Linie stellt man sich die Frage, ob die Veränderungen für das Auge sicht- bzw. wahrnehmbar sind und in welchem Ausmaße. Das menschliche Auge gilt als die erste und wichtigste Referenz um das Gesehene qualitativ zu beurteilen. An ihm wird bemessen ob eine Verbesserung eines Parameters Sinn ergibt, oder überflüssig ist. Gerade in Bezug auf die 4K Auflösung, spielt das menschliche Auflösungsverhalten eine entscheidende Rolle.

3.4 Zwischenresümee zur Bildgüte

Eine hohe Bildgüte wird durch das Zusammenspiel verschiedenster Bildparameter erreicht. In den letzten Kapiteln wurde analysiert, welche Parameter welchen Bedeutungsgrad für ein qualitativ hochwertiges Bild einnehmen. Es wurde festgestellt, dass die 4K Auflösung kein Garant für ein optimales Bild darstellt.

„Im besten Fall ist die Anzahl der Bildelemente eines Sensors [...] lediglich ein Indikator, wie gut eine Kamera unter Idealbedingungen feine Bilddetails erfassen kann.“⁹⁷

⁹⁶ URL: <http://www.digitaleleinwand.de/2012/12/06/peter-jackson-erklaert-seine-entscheidung-fuer-hfr-3d-kritiker-meinungen-zeigen-sich-durchwachsen/> (abgerufen am 21.05.2013)

⁹⁷ Kraus: „Arri, Alexa und 4k“, S.164

Durch die zusätzlichen Pixel erhalten die aufgenommenen Bilder eine bessere Detaildarstellung. Unser Auge ist beim richtigen Betrachtungsabstand auch in der Lage diese zusätzlichen Details aufzulösen, aber mehr Bilddetails bedeuten nicht, dass ein Bild auf den Betrachter schärfer wirkt. Für das Schärfeempfinden ist in erster Linie der Kontrast zuständig. Hinzu kommt, dass die gestiegene Auflösung nur Sinn ergibt, wenn der Betrachter den dafür vorgesehenen Bildabstand einhält. Sitzt der Zuschauer zu weit entfernt, gehen ihm wichtige Bilddetails verloren. Die volle Auflösung kann in diesem Fall nicht wahrgenommen werden, da die Auflösungsgrenze des Zuschauers durch die eigene Sehleistung des Auges begrenzt ist.

Für einen qualitativ hochwertigen Bildeindruck ist die zusätzliche Auflösung eher zweitrangig, da Qualitätszuwächse im Vergleich zur 2K Auflösung weniger ersichtlich sind, als dies beim Wechsel von SD zu HD der Fall war. Um einen deutlich sichtbareren Qualitätssprung zu erzielen sind andere Bildparameter entscheidender. Eine Möglichkeit die Bildqualität nachträglich zu verbessern, sind Hochkontrastbilder. Hierbei wird der Dynamikumfang von Kamerasensoren erweitert, um deutlich mehr Bildinformationen aufnehmen und darstellen zu können. Die Kontrastdarstellungen der Bilder decken auf diese Weise einen höheren Kontrastbereich ab und werden stufenloser dargestellt. Vor allem in den hellen und dunklen Bildbereichen sind feinere Helligkeitsabstufungen zu erkennen, wodurch das Bild vor negativen Bildeffekten wie „Clipping“ bewahrt werden kann. Das aus der Fotografie bekannte HDR-Verfahren, bei dem ein Hochkontrastbild aus einer Belichtungsreihe zusammengesetzt wird, wäre eine Option um HDR Aufnahmen zu realisieren. Durch die optimierten Kontrastdarstellungen verbessert sich neben dem Dynamikbereich auch der Schärfeeindruck, da hohe Kontraste einen großen Einfluss auf die Schärfe des Bildes nehmen.

Bei der qualitativen Beurteilung eines Bildes spielt das Schärfeempfinden eine elementare Rolle. Ein Bild, das mit 24 oder 25B/s aufgenommen wurde, besitzt aufgrund der langsamen Bildrate recht eindeutige Bewegungsunschärfen. Während der analogen Filmepochen war es eine Notwendigkeit 24B/s zu drehen, um die anfallenden Filmnegativkosten auf ein Minimum zu reduzieren. In der digitalisierten Filmwelt von heute ergeben solch niedrige Bildraten hingegen recht wenig Sinn, da der wichtige Faktor der Kostenersparnis vernachlässigt werden kann.

Um diesen Effekten entgegenzuwirken, werden aktuell die ersten Filme mit der sogenannten HFR-Technologie aufgenommen. Durch die höhere Bildrate von 48B/s werden Bewegungsunschärfen deutlich reduziert. Das Bild gewinnt zusätzlich an Schärfe, verliert aber an seiner filmischen Wirkung. Das liegt an den bisherigen Sehgewohnheiten,

welche sich über die letzten Jahrzehnte mit der langsamen Bildrate entwickelt haben. Schnelle Kamera- und Objektbewegungen verwaschen mit einer höheren Bildrate weniger und Bildfehler werden merklich reduziert.

Da unser Auge bis zu 55 Bilder innerhalb einer Sekunde unterscheiden kann, nähert man sich mit diesem Verfahren der Wahrnehmungsgrenze der Augen. Das menschliche Auge dient in vielerlei Hinsicht als Orientierung, um die Bildgüte weiterhin zu verbessern. Ist die Wahrnehmungs- bzw. Auflösungsgrenze der Augen noch nicht erreicht, gehen die Forschungen zur Bildoptimierung weiter. Sinn machen Verbesserungen jedoch nur, wenn sie vom Auge wahrgenommen werden können. Alles was die Fähigkeiten eines Auges mit guten Seheigenschaften übersteigt, ist überflüssige Information die sich ausschließlich negativ auf die Datenmenge der Datei auswirkt. Dabei ist es egal welcher Bildparameter optimiert wird, es entstehen zwangsläufig immer zusätzliche Bildinformationen. Diese zusätzlichen Informationen bewirken einen rapiden Anstieg der Datenmenge. Das Speichern, verwalten und bearbeiten dieser hohen Datenmengen stellt die Branche vor die größte Herausforderung. Soll die Bildgüte nachhaltig optimiert werden, ist es von großer Bedeutung Lösungswege zu finden, mit denen die Datenflut verarbeitet werden kann.

Im digitalisierten Kinosaal wird 4K bereits vereinzelt verwendet und auch erste Lösungsansätze im Umgang mit den gestiegenen Datenmengen sind vorzufinden. Welche Veränderungen dies mit sich zieht und was die zusätzliche Auflösung für die Kinobetreiber, Fernsehhersteller und Zuschauer bedeutet, wird im folgenden Kapitel analysiert.

4 4K in Kino und Fernsehen

Der Kinosaal ist neben dem Fernsehen zu Hause der potenziell größte Markt um die neue 4K Technologie zu etablieren. Jedoch schreitet die allgemeine Umrüstung von analogen Projektoren hin zu digitalen 4K Projektoren nur schleppend voran. Auch die Fernsehindustrie sieht sich bei der Umrüstung auf 4K mit einigen existenziellen Problemen konfrontiert. Ob 4K all den technologischen Investitionsaufwand seitens der Konsumenten, Hersteller und Kinobetreiber rechtfertigt, soll in den folgenden Kapiteln näher beleuchtet werden.

4.1 4K im digitalisierten Kinosaal

Die Digitalisierung von Kinosälen ist ein langwieriger Prozess, dessen Tragweite die gesamte Filmindustrie betrifft. Über Jahrzehnte wurden Kinofilme als analoge Filmkopien mittels mechanischer Kinoprojektoren dem Zuschauer präsentiert. Erst seit ca. 10 Jahren werden digitale Projektoren in Kinosälen eingesetzt. Wegbereiter des „*digital cinema*“ war der Zusammenschluss der sieben großen Hollywood-Majors: *MGM, 20th Century Fox, Buena Vista Group, Universal Studios, Sony Pictures Entertainment, Warner Bros. Pictures* und *Paramount Pictures* zur *DCI* im Jahre 2002.⁹⁸ Hauptaufgabe der *DCI* ist es, einen Katalog an Spezifikationen zu erlassen, welcher ein standardisiertes anfertigen digitaler Filmkopien ermöglicht.

„Digitales Kino (D-Cinema) ist laut Definition der Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) und des European Digital Cinema Forum (EDCF) die Einführung hoch entwickelter, digitaler Bilderstellungs- und Projektionstechnologie, mit dem Ziel, die Qualität von 35mm – Film zu übertreffen.“⁹⁹

Die von der *DCI* erlassenen Richtlinien werden im sogenannten DCI-Standard zusammengefasst und finden in nahezu jedem Kinosaal ihre Anwendung. Der DCI-Standard enthält alle nötigen Informationen, um eine digitale Filmkopie, auch DCP genannt, ordnungsgemäß anzufertigen und im Kinosaal erfolgreich abzuspielen. Durch die Digitalisierung der Kinosäle wird das letzte fehlende Glied zu einer rein digitalen Produktionsweise hinzugefügt. Das Ziel wird mit dem Erreichen des „*digital Roll-out*“ definiert. Die-

⁹⁸ vgl. Pallister, S.102

⁹⁹ Pallister, S.178

ser beschreibt den Zeitpunkt, in dem 100% aller Vorführräume mit einem digitalen Projektor ausgestattet sind. Aktuell ist dies bei etwa 65% der deutschen Spielstätten der Fall.¹⁰⁰ Das bedeutet jedoch nicht, dass mit dem Erreichen des *digital Rollouts* alle Kinosäle mit 4K Projektoren ausgestattet sind. Vielmehr wird ein Großteil der Kinosäle mit 2K Projektionssystemen arbeiten.

Den Anstoß für den Umbau der Kinosäle von analogen auf digitale Projektoren, lieferte der Spielfilm „*Avatar*“ von Regisseur *James Cameron*. Um diesen und folgende Filme in 3D projizieren zu können, investierten viele Kinobetreiber in die neuen digitalen 2K Kinoprojektoren. Dadurch entwickelte sich die 3D Technologie kurzzeitig zum Motor für das digitale Kino.¹⁰¹

Eine langjährige Studie der FFA über die Struktur der Kinosäle in Deutschland verdeutlicht, dass mit dem Kinostart von „*Avatar*“ im Jahr 2009 die Investitionen in die Ausstattung der Kinosäle rapide anstieg. Hierbei ist in erster Linie die Umrüstung von analoger zu digitaler Projektionstechnik zu verstehen.

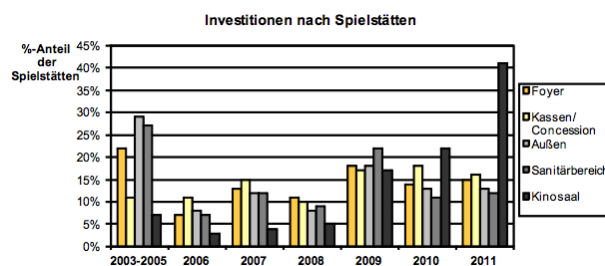


Abb. 27: Investitionen nach Spielstätten von 2003-2011 in Deutschland¹⁰²

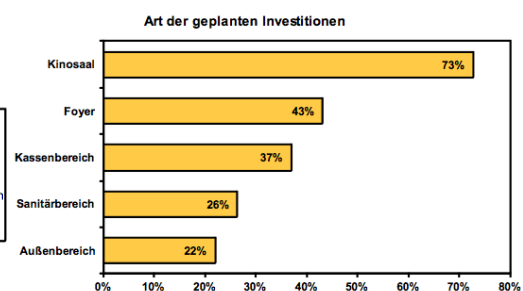


Abb. 28: geplante Investitionen 2012-2013 ohne Sonderformen, Neu-, Wiedereröffnungen und Schließungen¹⁰³

In Abb. 27 ist deutlich zu erkennen, dass in dem Zeitraum 2008 – 2011 der Anteil investitionswilliger Kinobetreiber, zur Optimierung ihrer Kinosäle, von 5% auf knapp über 40% gestiegen ist. Für die beiden Folgejahre 2012 und 2013 gaben fast dreiviertel aller befragten Kinobetreiber an, bis Ende 2013 in ihre Kinosäle investieren zu wollen. (Abb. 28) Für eine Umrüstung sprechen einige wichtige Faktoren, die die Bildqualität verbessern. Da digitale Filmkopien in der Regel auf Festplatten angeliefert werden, können die Filme beliebig oft abgespielt werden, ohne an Qualität zu verlieren. Analoge Filmkopien hingegen erleiden mit der ersten Wiedergabe einen kontinuierlichen Quali-

¹⁰⁰ URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Kinos-Digitalisierung-schreitet-voran-3D-bleibt-auf-der-Strecke-1804931.html> (abgerufen am 09.06.2013)

¹⁰¹ vgl. Eckstein, Eckhard: „3D wird Digital-Cinema-Motor“. Medien Bulletin, 2009. Heft 9. S.67

¹⁰² vgl. N.N.: „Struktur der Kinosäle in der Bundesrepublik Deutschland“, FFA. 2012. S.45

¹⁰³ ebenda, S.47

tätsverlust.¹⁰⁴ Ein weiterer wichtiger Punkt, der für eine digitale Filmkopie spricht, ist der absolut ruhige Bildstand. Bautechnisch bedingt, ist es bei analogen Projektoren nicht möglich, Projektionen auf Filmrollen im laufenden Betrieb ohne leichte Verwacklungen zu präsentieren. Diese leichten Bewegungen haben zur Folge, dass die auf der Leinwand präsentierten Filme an Schärfe verlieren.¹⁰⁵ Unabhängig von der Bildqualität ermöglicht das DCP eine Reihe weitere Vorteile, auf die aus mangelnden Bezug zur 4K Thematik nicht weiter eingegangen werden soll.

Jedoch bedeutet ein Kinosaal mit digitaler Projektionstechnik nicht automatisch, dass die Projektoren 4K Filme präsentieren können. Ein Großteil der in den letzten Jahren verbauten Digitalprojektoren sind 2K Projektoren. 4K Filme können in diesen Kinosälen nicht wiedergegeben werden. Das liegt in erster Linie daran, dass bereits ein 2K Projektor die heutigen Mindestanforderung der *DCI* erfüllt und gleichzeitig die günstigste Einstiegsmöglichkeit ins digitale Kinozeitalter darstellt. Die *DCI* kategorisiert ihre Auflösungsbestimmungen wie folgt:

	Auflösung	Bildrate	3D-Fähig
Level 3	2K (2048x1080)	24B/s	JA
Level 2	2K (2048x1080)	48B/s	JA
Level 1	4K (4096x2160)	24B/s	Nein

Tabelle 4: *DCI Normen für die Wiedergabe von Kinofilmen*¹⁰⁶

Level 3 entspricht der soeben angesprochenen Mindestanforderung die ein DCP erfüllen muss. Diese Bestimmung werden von allen digitalen Kinoprojektoren erfüllt. In *Level 2* werden Inhalte weiterhin in 2K Auflösung projiziert, können aber mit der doppelten Anzahl an Bildern pro Sekunde wiedergegeben werden, wodurch Bewegungsunschärfe und andere Störeffekte reduziert werden.¹⁰⁷ Diese Projektionsweise eignet sich besonders für 3D Inhalte, da in diesem Fall die Augen durch die höhere Bildrate weniger belastet werden. *Level 1* beschreibt die aktuelle Bestleistung, die ein Projektor mit 4K Spezifikationen in der Lage ist, wiederzugeben. Eine höhere Bildrate ist bei 4K Auflösung ebenfalls wünschenswert, würde aber die Datenmengen momentan unverhältnismäßig erhöhen. Um 4K Projektoren HFR tauglich zu machen, sind weitere Investitio-

¹⁰⁴ vgl. Riegler, Thomas: „HDTV – Alles rund ums hochauflösende Fernsehen“. Baden-Baden, 2006. S.115

¹⁰⁵ ebenda, S.113

¹⁰⁶ vgl. Eckstein, S.66

¹⁰⁷ Anmerkung: siehe Kapitel *Die Bildrate*

nen notwendig. Eine Kosten-Nutzen-Belastung die von Kinobetreibern kritisch gesehen wird. Auf diese Weise wird durch die ohnehin immensen Investitionen die 4K Projektoren im Vergleich zu den günstigeren 2K Projektoren mit sich bringen, die Etablierung von 4K zusätzlich erschwert.

Anhand Abb. 29 ist deutlich zu erkennen, dass sich allein in Deutschland bis Ende 2011 lediglich ein Bruchteil der Kinobetreiber für 4K Projektoren entschieden hat. Erst in großen Multiplex-Kinos spielt 4K als Vorführtechnik überhaupt eine Rolle. (Abb. 30)

Anzahl Projektoren	
	2011
<2K	539
2K	1.563
4K	145
keine Angabe	31
Gesamt	2.278

Quelle: FFA

Abb. 29: Übersicht zur Projektorenauflösung¹⁰⁸

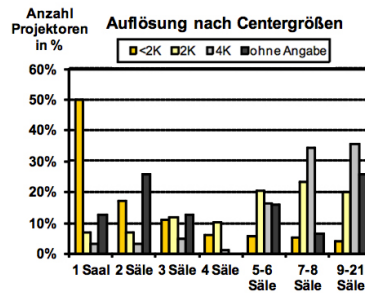


Abb. 30: Übersicht zur Projektorenauflösung nach Spielstättengröße¹⁰⁹

145 Kinosäle in denen 4K Filme vorgeführt werden können, entsprechen nur 6,4% der Leinwände in Deutschland. Nicht außer Acht zu lassen ist der Punkt, dass gerade seit 2012 deutlich mehr 4K Filme seitens der Produktionsfirmen realisiert wird. Leider liegen zu diesem Zeitraum aktuell keine Zahlen vor, um die Entwicklung besser beurteilen zu können. Ein Großteil der Kinobetreiber wird sich wohl erst auf 4K Projektoren einlassen, wenn eine ausreichende Anzahl an 4K Kinofilmen gewährleistet ist.

Eine weitere Grundsatzdiskussion behandelt den Aspekt, ob 4K Material im Kinosegment überhaupt Sinn ergibt. Hartnäckig hält sich die Meinung, dass 2K Material für die meisten Kinos vollkommen ausreichend sei. Grundsätzlich lässt sich über diese Sichtweise streiten, da immer bestimmt werden muss, von welchem Sichtabstand der Zuschauer, auf welche Leinwandgröße, unter welchen Seheigenschaften den Film betrachtet.

Mit Hilfe der gewonnen Richtwerte im Kapitel *Auflösungsvermögen des menschlichen Auges*, lassen sich wichtige Schlüsse über die Sinnhaftigkeit von 4K Auflösung in Kinosälen ziehen. Wenn davon ausgegangen wird, dass das Auge bei starken Kontrasten 2 Objekte mit 3mm Abstand, auf 10m unterscheiden kann, ist es möglich bei einer fest definierten Leinwandbreite, die Mindestauflösung der Projektion bestimmen zu können. Ist die Leinwand bspw. 12m breit (Abb. 31) und die Sitzentfernung beträgt 10m, so wür-

¹⁰⁸ vgl. N.N.: „Struktur der Kinosäle in der Bundesrepublik Deutschland“, S. 49

¹⁰⁹ ebenda, S. 51

de das Auflösungsvermögen des Auges genau der 4K Auflösung des projizierten Bildes entsprechen. Hierfür wird die Leinwandbreite durch den Mindestobjektabstand der jeweiligen Sitzentfernung geteilt.¹¹⁰

$$\text{Leinwandbreite} : (0,3\text{mm} \times \text{Sitzabstand}) = \text{notwendige Pixelzahl}$$

$$12.000\text{mm} : (0,3\text{mm} \times 10) = \text{notwendige Pixelzahl}$$

$$12.000\text{mm} : 3\text{mm} = 4000\text{px}$$

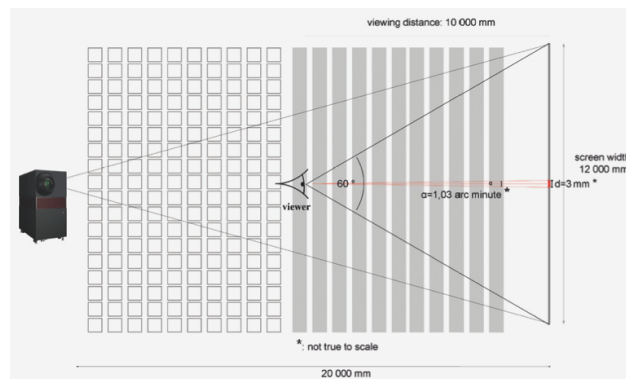


Abb.31: Grafische Darstellung zur Bestimmung des Sitzabstandes für 4K Inhalte¹¹¹

Alle Personen die diesen 10m Abstand zur Leinwand einhalten, können von der zusätzlichen Detailauflösung profitieren, da ihre Augen rein rechnerisch 4000 Pixel auflösen können. Alle Zuschauer hinter dieser 10m Begrenzung nehmen weniger Details wahr, da ihr Abstand zur Leinwand zu groß ist. Dennoch können ihre Augen theoretisch mehr als die üblichen 2000 Pixel der 2K Auflösung wahrnehmen. Erst ab einer Sitzentfernung von 19-20m im Saal entspricht das Auflösungsvermögen der Augen der gängigen 2K Auflösung im Kino. Die Zuschauer in den vorderen Reihen der Kinos sitzen mit weniger als 10m zu nah an der Leinwand, profitieren aber dennoch von der zusätzlichen Detailauflösung. Ihre Augen sind unterfordert und könnten eine noch höhere Auflösung unterstützen, als das Quellmaterial zur Verfügung stellt. Aufgrund der geringeren Pixeldichte des 4K- im Vergleich zum 2K Materials, sind störende Artefakte und grobe Pixelstrukturen für die Zuschauer in den vorderen Reihen dennoch reduziert. Das bedeutet, dass in diesem Beispiel alle Zuschauer mit 100%iger Sehschärfe von einer erhöhten 4K Bildauflösung, im Vergleich zur 2K Auflösung, profitieren. Je nach Sitzabstand ist der qualitative Vorteil jedoch verschieden.

Je nachdem wie gut bzw. schlecht das individuelle Auflösungsvermögen der Personen ist, variiert der optimale Sitzabstand. Da die Sehleistung in der Regel mit dem Alter sinkt, könnten vor allem Jugendliche von der zusätzlichen Auflösung profitieren, da de-

¹¹⁰ Anmerkung: Zur besseren Veranschaulichung und Berechnung wurden Näherungswerte verwendet.

¹¹¹ vgl. Kiening: „4K+ Systems“, S.22

ren Sehvermögen in der Regel noch über 100% beträgt.¹¹² Somit wäre es wirtschaftlich sinnvoller in 4K zu produzieren, wenn der Inhalt des Filmes eine jüngere Zielgruppe ansprechen soll.

Wie bereits besprochen, wird die benötigte Auflösung von unserem Auflösungsvermögen des Auges bestimmt. Des Weiteren bedeutet eine höhere Auflösung lediglich, dass sich die Zuschauer näher an der Leinwand befinden können, ohne Pixelstrukturen wahrzunehmen.

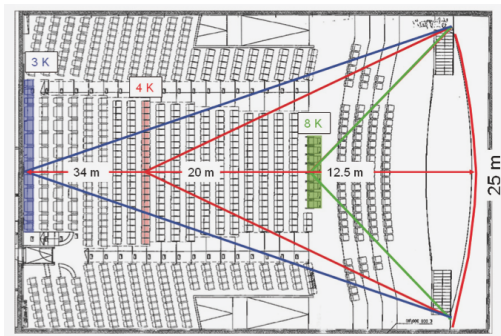


Abb.32: Darstellung der Auflösungsanforderung je nach Sichtabstand¹¹³

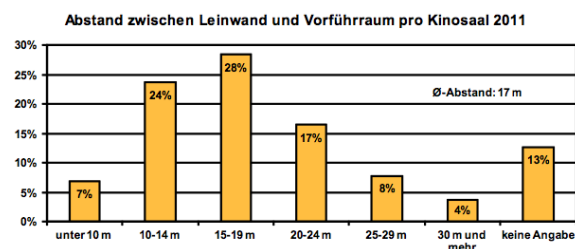


Abb.33: Verhältnis der Sitzabstände in Deutschland¹¹⁴

Unter Abb.32 ist deutlich zu erkennen, dass bei großen Leinwandbreiten ein Großteil der Zuschauer (*keine Arenabestuhlung*) von einer höheren Auflösung profitieren würde. Je näher sich der Zuschauer an einer Leinwand befindet, je höher muss die Auflösung des Filmes sein. Im Gegensatz dazu ist eine höhere Auflösung weniger von Bedeutung, desto weiter die Person von der Projektionsfläche entfernt sitzt. Wozu die Veranschaulichung in Abb.32 ebenfalls verwendet werden kann. Mit zunehmender Entfernung zur Leinwand sinken die Anforderungen des menschlichen Auges und dadurch auch die Anforderungen an die benötigte Auflösung. Dennoch profitieren auch die beliebtesten Sitzplätze im hinteren Drittel des Kinosals von der zusätzlichen Detailauflösung.

In Abb.33 hingegen kann dieses für 4K sprechende Argument bereits wieder entkräftet werden, wenn man sich das Verhältnis der Sitzabstände in deutschen Kinos zur Hand nimmt. Lediglich in 12% der Kinosäle ist der Abstand bis zum Vorführraum, nicht zu verwechseln mit der Entfernung zur optimalen Auflösungsgrenze von 4K Inhalten, größer als 25m. Allgemein ist eine genaue Angabe sehr schwierig, da in jedem Kinosaal die Sitzplatzanzahl und die Leinwandgröße stark variieren. Grundsätzlich können Kino-

¹¹² Anmerkung: Genaue Angaben über die Verteilung des Sehvermögens in der Bevölkerung waren nicht auffindbar.

¹¹³ vgl. Kiening: „4K+ Systems“, S.23

¹¹⁴ vgl. N.N.: „Struktur der Kinosäle in der Bundesrepublik Deutschland“, S.41

besucher von einer 4K Auflösung profitieren. Eine höhere Auflösung ist auf dem Weg zum optimalen Bild auch notwendig, nur die Frage nach der Wirtschaftlichkeit beeinflusst den Ausbau von 4K Projektoren im Kinobereich. Um die Qualität der Projektion und somit des Bildes zu verbessern, gibt es neben der höheren Auflösung weitere, speziell fürs Kino zutreffende Aspekte, welche diskutiert werden müssen. Ein Großteil der DCI-Spezifikationen sind berechtigt und sinnvoll, jedoch wird in einigen Bereichen die Anforderung zu locker betrachtet.

Ein verbesserungswürdiger Aspekt ist die Kontrastdarstellung im Kino. Der Kontrastumfang beträgt teilweise nur 500:1. Moderne Displays sind im Vergleich dazu in der Lage ein Kontrastverhältnis von 5000:1 darstellen.¹¹⁵ Eine Kontraststeigerung hat wie im Kapitel *Der Kontrast- und Dynamikumfang* beschrieben, einen direkten Einfluss auf die Bildwirkung im Kino. Ist der Kontrastumfang höher, können Kontraste in den dunklen und hellen Bildbereichen differenzierter unterschieden werden. Zusätzlich haben hohe Kontraste einen direkten Einfluss auf das subjektive Schärfeempfinden des Zuschauers. Ein höherer Kontrast würde das Kinoerlebnis verbessern. Ein Vorteil den die Kontrastoptimierung gegenüber 4K Auflösung hat, ist dass es egal ist, wo sich der Zuschauer im Kinosaal befindet. Jeder würde von dem zusätzlichen Kontrastumfang profitieren. Ähnlich verhält es sich mit der Leuchtdichte im Kinosaal. Die DCI-Spezifikation fordert eine Mindest-Kinoleuchtdichte von 48cd/m². Dr. Ulrich Schmidt empfiehlt einen Wert von 70cd/m².¹¹⁶ Der Nachteil einer zu dunklen Leinwandprojektion ist, dass sich die Pupillen der Augen weiter öffnen müssen, um die mangelnde Lichtintensität auszugleichen. Die Folge ist eine verminderte Sehschärfe der Augen. Die Pupille eines Auges reguliert wie der Blendenring an einer Kameraoptik den Lichteinfall. Jede Optik besitzt eine bestimmte Blendenöffnung, an der die Abbildungsqualität am höchsten ist. Ähnlich funktioniert dies beim menschlichen Auge. Die optimale Öffnungsgröße beträgt hierbei etwa 3mm. Bei einer Leuchtdichte von 48cd/m² ist die Pupille jedoch zwischen 4-6mm geöffnet.¹¹⁷ Die Überlegung die Mindest-Leuchtdichte auf 70cd/m² anzuheben, würde der optimalen Öffnungsgröße des menschlichen Auges entgegen kommen. Eine Steigerung der Leuchtdichte macht erst seit der Digitalisierung Sinn, da bei analogen Projektoren der unruhige Bildstand bei Zunahme der Leuchtdichte schneller ersichtlich geworden wäre. Ein weiterer Aspekt, der sich negativ auf die erhöhte Leuchtdichte auswirken würde, wäre die langsame Bildrate von 24B/s. Durch den Helligkeitserfolg wird die Einzelbildabfolge vom Auge eher wahrgenommen. Hierfür ist

¹¹⁵ vgl. Kraus: „Wohin geht die Reise?“, S.3

¹¹⁶ vgl. Schmidt, S.200

¹¹⁷ vgl. Claypool, Brian et al.: „Digitale Kinoprojektion: Auswahl der richtigen Technologie“. FKT, 2011. Heft 4. S.188

die im Kapitel *Die Bildrate* angesprochene HFR Technologie von Nutzen. Mit mehr Bildern pro Sekunde kann dieser Störeffekt behoben und ein zusätzlicher Qualitätssprung verzeichnet werden. An diesem Punkt wird auch ersichtlich, dass ein einzelner Parameter die Bildqualität nicht zwangsläufig verbessert, sondern das nur das Zusammenspiel mehrerer Faktoren die Bildgüte dauerhaft verbessern kann. Viele Bildparameter sind untereinander vernetzt und entfalten nur gemeinsam ihre volle Wirkung. Dies gilt auch für eine höhere Auflösung.

„Die Bildgüte einer Kamera ist nicht in K zu messen. Es gehören viel mehr Aspekte dazu, ein gutes Bild zu erzeugen. Die ganze K-Diskussion steht für eine verkürzte Sichtweise, die dem Thema absolut nicht gerecht wird.“¹¹⁸

Ein weiteres elementares Qualitätskriterium im digitalen Kino ist die Datenkomprimierung um die Datenmenge des Filmes zu reduzieren, ohne sichtbare Qualitätseinbußen erkennen zu können.

„Die Hauptaufgabe der Kompression ist die maßvolle Reduzierung der zu übertragenden Datenmenge bei Erzielung der maximalen Bildqualität für die jeweilige vorgesehene Anwendung.“¹¹⁹

Aktuelle Kinofilme werden nach dem DCI-Standard im JPEG-2000 Komprimierungsverfahren mit 12Bit und einer maximalen Datenrate von 250Mbit/s komprimiert.¹²⁰ JPEG-2000 ist ein platzsparender Komprimierungsstandard, der durch seine vergleichsweise hohe Datenrate in der Regel keine visuellen Qualitätsverluste im Bild einer 2K DCP erkennen lässt.

Um 4K Material im Kinosaal qualitativ hochwertig wiederzugeben, ist es von großer Bedeutung die von der DCI festgelegte Datenrate zu erhöhen. Die 250Mbit/s des JPEG-2000 Kodiervorgangs sind für eine solch hohe Auflösung nicht ausreichend. Durch die starke Komprimierung werden die zusätzlichen Bilddetails des 4K DCPs komprimierungsbedingt herausgefiltert und sind dadurch für das Publikum nicht mehr ersichtlich.¹²¹ Wenn das Publikum die höhere Auflösung nicht sehen kann, erübrigt sich der Sinn von 4K. Demnach ist die Anhebung der maximalen Datenrate die logische Konsequenz, um den Zuschauern die zusätzliche Detailauflösung von 4K Spielfilmen zu ermöglichen.

¹¹⁸ Kraus: „Wohin geht die Reise?“, S.2

¹¹⁹ Seiler, Constantin et al.: „High-Level-Kompressionsstufen für ein DCI-konformes Digitalkino“. FKT, 2006. Heft 11. S.659

¹²⁰ ebenda, S. 659

¹²¹ Kraus: „Arri, Alexa und 4k“, S.164

Die Ausgangslage für 4K Auflösungstechnik ist problematisch. Um den Kinosaal 4K fähig zu machen, sind hohe Investitionen notwendig. Die Richtlinien der *DCI* müssen optimiert werden, um den Umstieg auf 4K einfacher zu gestalten. Zuerst müssen jedoch die grundlegenden Schwierigkeiten, wie bspw. die Komprimierung der Daten, behoben werden, damit sich 4K auch für den Kinobetreiber rechnet.

4.2 4K im Fernsehen

In der Multimediabranche ist anstelle der 4K Auflösung, der Begriff Ultra HD gebräuchlich. Das in diesem Kapitel beschriebene Ultra HD Signal beschränkt sich auf die UHD-1 Auflösung mit 3840x2160 Pixel. Dies entspricht einem 16:9 Bildseitenverhältnis und fällt etwas kleiner aus, als die 4096x2160 Pixel der 4K Kinoauflösung.¹²² Während der Ausbau digitaler 4K Kinoprojektionen langsam, aber stetig voranschreitet, ist die TV-Branche bisher nicht in der Lage ein regelmäßiges 4K ähnliches Programm anzubieten. Entsprechend groß sind die Ambitionen der namenhaften TV-Hersteller Ultra HD im Fernsehen als neuen Standard zu etablieren.

Der japanische Nachrichtensender *NHK* hingegen plant die Fußball Weltmeisterschaft 2014 bereits in 4K zu übertragen. Auch während des *Confederation Cups* in Brasilien, wurden unabhängig vom HD Sendebetrieb, drei Spiele in 4K Auflösung aufgezeichnet. Mit mehreren F55 Kameras von *Sony* soll die 4K Tauglichkeit von Sportereignissen weiterhin untersucht werden, um eine 4K Ausstrahlung zur *WM* 2014 zu ermöglichen.¹²³ Der Bezahlsender *Sky* plant für das Jahr 2015 ebenfalls einen eigenen 4K Kanal einzurichten. Abseits dieser Versprechungen gestaltet sich die Realität als weniger euphorisch. Gegenwärtig werden die ersten Ultra HD fähigen TV Geräte von den großen Herstellerfirmen präsentiert, jedoch fehlt es derzeit an verfügbarer Software. 4K gemasterte BluRays sind auf dem derzeitigen Markt eine Rarität und die momentan angekündigten Preise für 4K Geräte belaufen sich zwischen 4.500 - 20.000 Euro.¹²⁴ Um 4K Fernsehen etablieren zu können, müssen zuerst günstigere TV Geräte zur Verfügung stehen.

In der deutschen Fernsehlandschaft wird ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Sendungen derzeit noch in SD Qualität ausgestrahlt. Die Umstrukturierung der Sender

¹²² Anmerkung: siehe Kapitel *Empirische Untersuchung zur Auflösungsleistung*

¹²³ vgl. Eckstein, Eckhard: „Es wird hektisch“. Medien Bulletin, 2013. Heft 6. S.28

¹²⁴ URL: <http://4kfilme.de/sony-mastered-in-4k-blu-rays-deutschland/> (abgerufen am 10.06.2013)

von der SD zur HD Auflösung ist noch nicht abgeschlossen, jedoch versuchen die Hersteller bereits jetzt den nächsten hochauflösenden Standard zu etablieren.

Zum aktuellen Zeitpunkt werden über Satellit ausschließlich einige wenige Ultra HD Demokanäle zu Testzwecken ausgestrahlt. Um eine Übertragung zu ermöglichen werden die Daten mit dem H.264 Codec komprimiert. Für Ultra HD Formate ist dieser Videocodec jedoch recht ungeeignet. Ein wichtiger Faktor, der bei der Entwicklung neuer Auflösungsformate und Qualitätsstandards nicht außer Acht gelassen werden darf, sind die entstehenden Datenmengen. Der Demokanal des Satellitenbetreibers *Astra* überträgt ein H.264 komprimiertes Signal derzeit mit 300MB pro Minute, was einer Gesamtdatenmenge von 18GB pro Stunde entspricht.¹²⁵ Da die Satellitenübertragung bei solch hohen Bandbreiten sehr kostspielig ist, wird ein neues Kodierverfahren benötigt, um eine kostensparende Übertragung zu ermöglichen.

„Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung der Produktions- und Sendewege werden hochqualitative und speicherplatzsparende Formate immer gefragter.“¹²⁶

Für diese Zwecke wurde der neue HEVC/H.265 Codec entwickelt. Der HEVC-Standard kann als Weiterentwicklung des H.264 Codecs verstanden werden und bietet den entscheidenden Vorteil, bei gleicher Bildqualität, die zur Übertragung anfallende Datenmenge, um bis zu 50% zu reduzieren. (Abb.34)

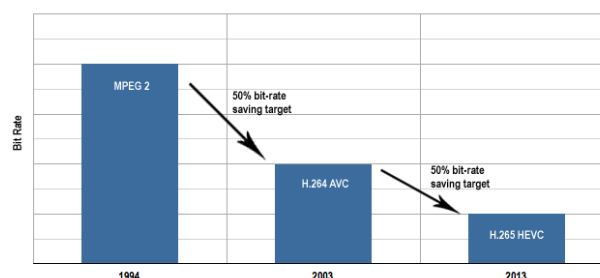


Abb.34: Benötigte Datenmenge bei gleicher visueller Bildqualität¹²⁷

Durch die kleineren Datenmengen, genügt zur Übertragung eine geringere Bandbreite. Auf diese Weise werden Kosten eingespart. Der zur Verfügung stehende Platz kann zusätzlich für weitere Videoangebote genutzt werden. Darüber hinaus eignet sich die HEVC-Kodierung nicht nur für die Übertragung per Satellit, auch beim Streaming von 4K Videos im Internet erweist sich der neue Codec als schneller und platzsparender. Inhalte können schneller hoch- bzw. heruntergeladen werden. Die Übertragung über

¹²⁵ URL: <http://www.player.de/2013/06/12/4k-aufloesung-via-satellit-astra-startet-ultra-hd-kanal-mit-3-840-x-2-160-pixeln/> (abgerufen am 13.06.2013)

¹²⁶ Pallister, S.104

¹²⁷ URL: http://www.theregister.co.uk/2013/04/11/feature_wtf_is_h265_hevc/ (abgerufen am 13.06.2013)

verschiedene Schnittstellen erfolgt ebenfalls effizienter und die Speicherkapazität wird geschont. Da der HEVC Codec erst vor kurzem entwickelt wurde, ist er bisher kaum verbreitet. Viele Anwendungen werden weiterhin mit dem H.264 Codec komprimiert. Für die Industrie ist es jedoch wichtig zu wissen, dass ein Standard entwickelt wurde, mit dem 4K verarbeitet und kostensparend verwendet werden kann.

Ein Hauptmerkmal von neuen Ultra HD TV-Modellen sind Bildschirmdiagonalen über 60 Zoll. Diese sind beim bisherigen Full HD Auflösungsformat mit seinen maximalen 1920x1080 Pixeln weniger lukrativ gewesen. An diesem Punkt befindet sich eine weitere Parallele zwischen der Kinoleinwand und den TV Bildschirmen. Genau wie im Kinosaal können die Zuschauer entweder näher an den Bildschirm heranrücken, ohne einzelne Pixel wahrzunehmen, oder aber bei gleichem Sitzabstand die Bildschirmfläche deutlich vergrößern. Der Betrachtungsabstand verringert sich bei 4K vom 3,2- auf den 1,6 fachen Abstand der Bildhöhe.¹²⁸ Da sich Störeffekte und zeitliche Artefakte mit steigender Bildschirmgröße ebenfalls vergrößern, müssen Maßnahmen eingeleitet werden, die diese effektiv verringern. Auffällig ist, dass viele der auf Messen vorgestellten TV-Geräte mit Bildschirmdiagonalen über 60 Zoll eine höhere Bildrate von bis zu 60fps aufweisen. Wie im Kapitel *Die Bildrate* bereits erklärt wurde, verringert sich dadurch die Bewegungsunschärfe, die bei größeren Flächen deutlicher ins Gewicht fällt. Um diese Bildrate zu bewerkstelligen, reicht eine herkömmliche HDMI 1.4 Schnittstelle nicht aus. Einige Anbieter verwenden deshalb mehrere HDMI Anschlüsse gleichzeitig, um die anfallende Datenflut zu verarbeiten. Gleichzeitig wird an der Weiterentwicklung von HDMI 1.4 auf HDMI 2.0 gearbeitet, was eine Bandbreite von 20-25Gbit/s ermöglichen soll.

Ein wichtiger Aspekt der die Verbreitung von 4K Geräten vorantreiben könnte, ist die Smart TV Funktion. Durch die Smart TVs erfährt das herkömmliche TV-Gerät eine Vernetzung mit Programmen aus dem Internet. Dadurch wären mit dem Internet verbundene 4K Fernseher in der Lage, auf 4K Inhalte aus dem Internet zuzugreifen. Da das Internet schneller auf Trends reagieren kann, ist dies ein wichtiger Punkt wenn es darum geht, möglichst schnell eine gewisse Basis an 4K Content bereitzustellen. Prädestiniert für das Übertragen von online Videos ist die Internetplattform *Youtube*, auf der bereits 4K Material hochgeladen werden kann. Da der interne Youtube Player leider keine volle 4K Auflösung unterstützt, können Videos unter der Bezeichnung „*Original*“ nur in 2048x1536 wiedergegeben werden.¹²⁹ Erst nach dem Download über ein externes Downloadprogramm, können die entsprechenden Videos in ihrer nativen 4K Auflösung

¹²⁸ Anmerkung: siehe Kapitel *Der Zusammenhang von Bildauflösung und Bildschärfe*

¹²⁹ URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/YouTube> (abgerufen am 13.06.2013)

betrachtet werden. Auch *Apple* wird sein neues *Mac Pro* mit mehreren Thunderbolt 2.0 Anschlüssen, mit einer Übertragungsleistung von 20Gbit/s ausstatten, um 4K Content auf mehreren 4K Displays effizient wiedergeben zu können.¹³⁰ Aufgrund der benötigten Bandbreite reichen aktuelle Übertragungskabel nicht mehr aus.

Bis sich 4K Fernsehen auf dem Markt durchsetzen wird, werden noch einige Jahre vergehen. Die Problematik der Übertragung und Archivierung des Materials bremst den Fortgang des neuen Auflösungsformates. Doch der Markt stellt sich bereits auf die neuen Bedürfnisse des 4K Materials ein. Für den TV Konsumenten ist die höhere 4K Auflösung derzeit kaum zu rechtfertigen, angesichts der momentan sehr hohen Anschaffungskosten. Ohne die benötigten Inhalte ergibt dieses Format bisher wenig Sinn. Es müssen erst auf produktionstechnischer Seite alle problembereitende Faktoren geklärt werden, um den Konsumenten eine Technik zu präsentieren, mit der dieser zufrieden die neue Auflösung sehen kann.

¹³⁰ URL: <http://de.engadget.com/2013/06/10/mac-pro-im-herbst-mit-multiple-4k-unterstuetzung-12-core-xeon-cp/> (abgerufen am 16.07.2013)

5 Empirische Untersuchung zur Auflösungsleistung von SD / 2K und 4K

Der folgende Testverlauf wurde beim Broadcast Verleiher *Camelot* in Berlin durchgeführt. Das Ziel des Testverfahrens war, die Auflösungsgrenzen der wichtigsten Auflösungsformate anhand eines eigens durchgeführten Testverfahrens zu bestimmen und miteinander zu vergleichen. Des Weiteren sollte dargestellt werden, wie sich mit steigender Auflösung die Detailtreue des Bildes verbessert. Je höher das Auflösungsformat ausfällt, desto feiner können unter Idealbedingungen Details im Bild aufgelöst werden. Dies sollte in den folgenden Tests nachgewiesen werden. Aus dem direkten Vergleich der verschiedenen Auflösungsformate konnten wichtige Schlussfolgerungen über die Bedeutung der Auflösung getroffen werden. Zusätzlich konnte auf diese Weise der Vorteil einer 4K Auflösung im Vergleich zu geringeren Auflösungsstandards visuell dargestellt werden.

5.1 Die Testvorbereitung

Um das Testverfahren durchführen zu können und um anschließend verwertbare Ergebnisse zu erhalten, müssen im Vorfeld einige technische Parameter erklärt werden.

5.1.1 Die Testtafel

Auf der Testtafel befinden sich alle wichtigen Testgrafiken. Diese werden mittig und an den Rändern der Testtafel befestigt, um eventuelle Unterschiede in der Abbildungsleistung von der Bildmitte hin zum Bildrand festzustellen.

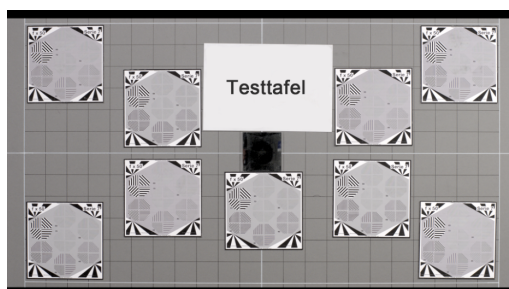


Abb.35: vollständige Testtafel mit Testgrafik

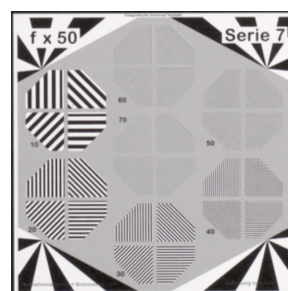


Abb.36: einzelne Testgrafik mit verschiedenen Linienpaarabständen

Die Testgrafiken sind mit verschiedenen Linienblöcken versehen. Je nach Auflösungsleistung können unterschiedlich dicht beieinanderstehende Linienpaare in den jeweiligen Blöcken aufgelöst werden. Je näher die Linien zusammen stehen, desto höher muss die Auflösung der Kamera sein, um die Linien weiterhin getrennt und kontrastreich voneinander unterscheiden zu können. Die Testtafel selbst besteht in der Breite aus 24 gleichgroßen Quadraten. Wird der Bildausschnitt daran angepasst, nimmt ein Quadrat auf dem Bildsensor eine Fläche von 1mm ein. Auf diese Weise kann jede Sensorgröße unter gleichen Bedingungen getestet werden. Dafür muss nur der Abstand zur Tafel übereinstimmen.

5.1.2 Der Testaufbau



Abb.37: Sony DVW 790p



Abb.38: Sony F3



Abb.39: Sony F65

Für den Testaufbau ist es wichtig die jeweilige Kamera optimal auf die Testtafel auszurichten. Hierbei muss der Bildausschnitt, dem Bildausschnitt der Testtafel entsprechen, damit der gesamte Sensor belichtet wird und um vergleichbare Werte zu erhalten. Um dies zu ermöglichen wird in die Mitte der Testtafel ein Spiegel befestigt. In diesem Spiegel ist bei optimaler Ausrichtung die Optik der Kamera zu sehen. Der Abstand der abgebildeten Optik zum Rand des Spiegel muss an jedem Punkt gleich sein. Dies ist wichtig, um eventuelle Neigungen der Testtafel oder des Objektivs auszugleichen. Eine gleichmäßige Ausleuchtung der Testtafel ist ebenfalls wichtig. Es wurde versucht die Aufnahmen innerhalb der besten Abbildungsleistungen der Objektive zu erstellen. Diese befindet sich in der Regel leicht abgeblendet zwischen der Blende 5.6 – 8. Aus diesem Grund sind die Aufnahmen mit einer vergleichbaren Blendenöffnung durchgeführt wurden.

5.1.3 Die Nyquist-Frequenz

Eine wichtiges Element zur Beurteilung der Auflösungsqualität ist die Nyquist-Frequenz. Die Nyquist-Frequenz gibt an, wie viele Linienpaare eine bestimmtes Auflösungsformat mindestens erbringen muss. Die Nyquist-Frequenz hilft also bei der Beurteilung der Auflösung, da sich an diesem Wert orientiert wird. Die Nyquist-Frequenz

entspricht der halben Abtastfrequenz. Die Abtastfrequenz symbolisiert die Mindestanforderung die an eine Kamera gestellt wird. Das durch den Bildsensor aufgenommene Signal muss in einer bestimmten Mindestfrequenz abgetastet werden, damit dieses Signal anschließend beliebig rekonstruiert werden kann.¹³¹ Wird die geforderte Nyquist-Frequenz nicht erreicht, entsteht Aliasing und andere Störeffekte. Bis zur Nyquistgrenze muss ein Signal störungsfrei reproduzierbar sein. Darüber hinaus sind Artefakte möglich und werden auch akzeptiert. Die Nyquist-Frequenz stellt die Mindestanforderung an die Kamera dar. Sie wird wie folgt berechnet.

Beispiel Full HD:

Die horizontale Pixelauflösung des Sensors wird durch die Sensorbreite dividiert, um die Linienanzahl pro mm zu erhalten:

$$1920 : 24 = 80 \text{ Linien/mm}$$

Anschließend werden die Linien durch 2 dividiert, da nach dem Nyquist-Shannon Theorem mindestens 2 Linien benötigt werden, um einen Pixel darzustellen:

$$80 \text{ Linien/mm} : 2 = 40 \text{ Linien/mm}$$

Für die Beurteilung werden jedoch keine Linien sondern Linienpaare benötigt. Ein Linienpaar besteht aus 2 Linien, zwischen denen der Wechsel von Schwarz zu weiß beschrieben ist. Aus diesem Grund werden die 40 Linien zu 20 LP/mm zusammengefasst. Ein Full HD Signal muss laut Nyquist 20 LP/mm auflösen können, um die Mindestanforderung zu erfüllen.

5.2 Der Testverlauf

Für die Darstellung des SD Signals wurde die *Sony DVW 790p* verwendet. Eine Kamera deren Maximalleistung sich auf ein 16:9 SD Signal beschränkt. Für das Full HD Signal kam die *Sony F3* zum Einsatz. Außerdem wurde mit dem externen *Ninja Rekorder*¹³² über HD SDI-OUT¹³³ ein Apple ProRes 422¹³⁴ Signal der *Sony F65* in Full HD aufgenommen. Die 4K Aufnahme konnte mit der *Sony F65* realisiert werden und wurde anschließend in einem Postproduktionshaus verarbeitet, da der verwendete externe

¹³¹ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Frequenz> (abgerufen am 01.07.2013)

¹³² *Ninja Rekorder*: Externer Videorekorder des Herstellers Ninja, um Videosignale extern aufnehmen zu können.

¹³³ *HD SDI*: Schnelles Übertragungskabel für Video und Ton

¹³⁴ *Apple ProRes 422*: Videocodec zur hochwertigen Komprimierung

Rekorder nicht in der Lage war, 4K Material zu verarbeiten. Um das Ergebnis möglichst unabhängig auswerten zu können, wurde versucht durchweg das gleiche Objektiv zu verwenden. Da sich der Mount der EB-Kamera vom PL-Mount¹³⁵ der S35mm Sensor-kameras unterscheidet, wurde in diesem Fall auf ein anderes Zoomobjektiv zurückgegriffen. Zur Übersicht der Testparameter soll die folgende tabellarische Darstellung helfen:

Auflösungsformat	SD	Full HD	HD (konvertiert)	4K
Kameramodell	SONY DVW 790p	SONY F3	SONY F65	SONY F65
Pixelauflösung	1024x576	1920x1080	1920x1080	4096x2160
Objektiv	Digi Zoom 6-24mm	Ultraprime 65mm	Ultraprime 65mm	Ultraprime 65mm
Aufnahmeformat	Apple Pro-Res422	Apple Pro-Res422	Apple Pro-Res422	RAW ¹³⁶
Nyquistgrenze	ca. 10 LP/mm	20 LP/mm	20 LP/mm	40 LP/mm

Tabelle 5: Übersichtstabelle der verschiedenen Testparameter

Für die Beurteilung der Testsequenzen werden mit jeder Kamera kurze Clips von der Testtafel erstellt. Um die Daten besser auswerten zu können, wird aus den Testsequenzen ein qualitativ hochwertiges Standbild herausgerechnet, um keine Verfälschungen hervorzurufen. Aufgenommen wurden die Bilder in der bestmöglichen zur Verfügung stehenden Qualität, mit einem externen Rekorder In Apple ProRes422 HQ. Mit Ausnahme des Signals der *Sony F65*, da wie bereits erwähnt der externe Rekorder 4K Auflösung nicht verarbeiten kann. Mit Hilfe der Standbilder können die Auflösungsleistungen besser miteinander verglichen werden.

5.3 Die Testergebnisse

5.3.1 Testergebnis des SD Signals

Bei diesem SD Kameramodell liegt ein 16:9 Signal vor. Die Auflösung beträgt deshalb 1024x576 Pixel. Die Nyquist-Frequenz beträgt: 10,7 LP/mm. Abb. 6 zeigt eine Testgra-

¹³⁵ PL-Mount: professionelles Objektivanschlussystem

¹³⁶ RAW: unkomprimiertes Aufzeichnungsformat

fik die aus der gesamten Testtafel herausgeschnitten wurde. *Abb.7* stellt einen Ausschnitt des zu untersuchenden Linienblocks mit 10 LP/mm vergrößert dar.

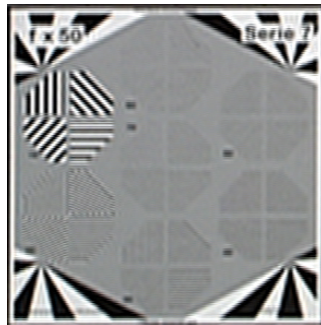


Abb.40: Testgrafik in SD Qualität

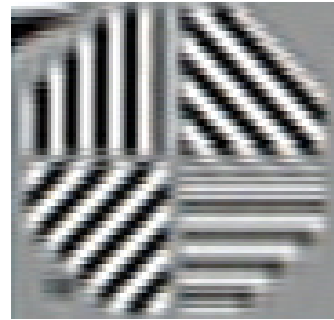


Abb.41: SD Vergrößerung 10 LP/mm

Abb.40 veranschaulicht, dass die Mindestauflösung der SD Kamera mit ca. 10 Linienpaaren eingehalten wird. Die erforderlichen Linienpaare werden größtenteils voneinander getrennt und kontrastreich dargestellt. Bei Auflösungsfrequenzen die über dem eines SD Signals liegen, gelangt die Kamera schnell an ihre Grenzen, bei der feinere Muster (>10 LP/mm) nicht mehr aufgelöst werden konnten. Die Vergrößerung des Ausschnitts in *Abb.41* veranschaulicht, wie schwach die Auflösungsleistung eines SD Signals ist. Während die vertikalen Linienpaare gut zu unterscheiden sind, weisen die diagonalen Linienpaare deutliche Treppmuster auf. Des Weiteren sind leichte Farbsäume an den Rändern der diagonalen Linien zu erkennen. Die Auflösungsgrenze des SD Signals ist erreicht, sobald weiße und schwarze Linien nicht mehr klar voneinander unterschieden werden können und sich zu einem Grauton mischen.

5.3.2 Testergebnis des Full HD Signals

Die Full HD Auflösung der *Sony F3* beträgt 1920x1080 Pixel. Die Nyquist-Frequenz beträgt: 20 LP/mm. Das Testverfahren unterscheidet sich unabhängig von der verwendeten Kamera oder Auflösungseinstellung nicht. Die folgenden Testgrafiken wurden aus dem Originalbild des Full HD Materials herausgeschnitten und für eine bessere Visualisierung vergrößert.

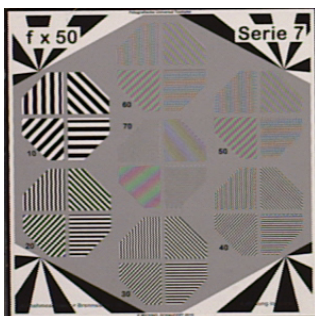


Abb.42: Testgrafik in Full HD Qualität

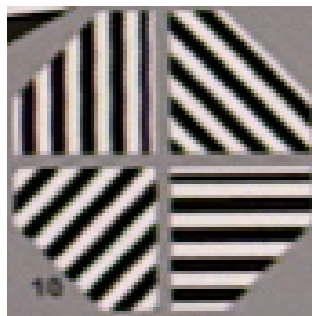
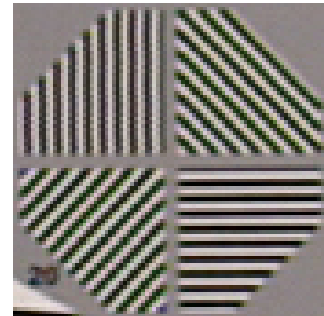


Abb.43: Full HD Vergrößerung 10 LP/mm

Abb.44: Full HD Vergrößerung
20 LP/mm

Grundsätzlich ist die *Sony F3* Kamera, welche beispielhaft für alle Full HD Kameras verwendet wurde, in der Lage die geforderten 20 LP/mm aufzulösen. (Abb. 44)

Bei 20 LP/mm liegen die Linien doppelt so dicht beieinander, wie dies bei 10 LP/mm der Fall ist. Durch die höhere Pixelanzahl der Full HD Auflösung, können Kontrastunterschiede differenzierter dargestellt und somit feiner aufgelöst werden. Dennoch sind in der Gesamtdarstellung der Testgrafik in Abb. 42 deutliche Farbartefakte zu erkennen. Das Farbmoiré bei 70 LP/mm in Abb. 42 wird toleriert, da eine derart hohe Auflösung nicht von der Kamera bewerkstelligt werden muss. Die chromatischen Aberrationen¹³⁷ im Bereich von 20 LP/mm hingegen, deuten auf einen qualitativen Auflösungs-mangel der Kamera hin. Das auftreten dieser roten und grünen Farbsäume ist meist an sehr kontrastreichen Bildbereichen vorzufinden. Allerdings kann ein solcher Abbildungsfehler auch durch die optischen Eigenschaften des Objektivs hervorgerufen werden.

Es wurde nachgewiesen, dass ein Full HD Signal im Vergleich zur SD Auflösung, eine bessere Detailauflösung liefert. Einerseits können 20 LP/mm dargestellt werden, andererseits werden auch die für die SD Auflösung definierten 10 LP/mm merklich schärfer abgebildet. (Abb. 43) Zusätzlich ist die *Sony F3* in der Lage Linienpaare darzustellen, die sich über der geforderten Mindestauflösung befinden. Selbst die horizontalen und vertikalen Linienpaare im Bereich der 30 LP/mm können teilweise noch unterschieden werden.

5.3.3 Testergebnisse des konvertierten Full HD Signals

Über den externen *Ninja* Rekorder war es durch rekorderinternes downscaling möglich, ein Full HD Signal der *Sony F65* aufzunehmen, auch wenn diese Option kameraintern nicht zur Verfügung stand. Aus den Testergebnissen konnten einige interessante Schlussfolgerungen getroffen werden. Die Nyquist-Frequenz befindet sich, da es sich ebenfalls um ein Full HD Signal handelt, weiterhin bei 20 LP/mm.

¹³⁷ *chromatische Aberrationen*: spezielle Abbildungsfehler

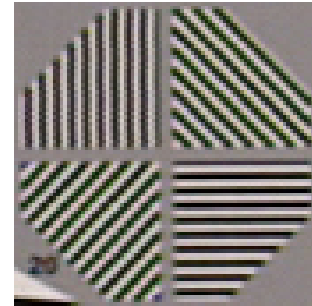
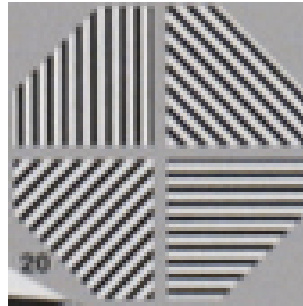
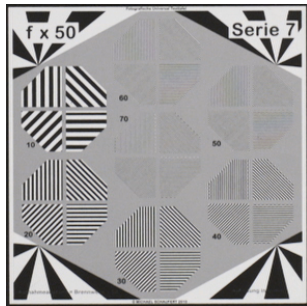


Abb.45: Testgrafik konvertiertes Full HD Signal der Sony F65 via Ninja Abb.46: Full HD Vergrößerung 20 LP/mm der Sony F65 via Ninja Abb.47: Full HD Vergrößerung 20 LP/mm der Sony F3

Bei vergleichender Betrachtung der Testgrafiken in *Abb.46* und *Abb.47*, fällt auf, dass die deutlichen Farberscheinungen im Full HD Bild der *Sony F3* (*Abb.47*), im konvertierten Full HD Bild der *Sony F65* (*Abb.46*) nicht auftreten. Es ist deutlich zu erkennen, dass keine chromatischen Aberrationen im konvertierten Signal der *Sony F65* vorhanden sind und das obwohl es sich bei beiden Signalen um eine Full HD Auflösung handelt. Dadurch kann wiederum ausgeschlossen werden, dass die Farbartefakte durch das Objektiv hervorgerufen wurden. Bei beiden Testaufnahmen wurde das gleiche *Zeiss Ultraprime* 65mm Objektiv verwendet. Das Farbmoiré der *F3* im Bereich der 70 LP/mm aus *Abb.42* ist in *Abb.45* ebenfalls nicht zu erkennen, obwohl das Signal mit dem gleichen externen Rekorder und den identischen Einstellungen aufgenommen wurde.

Die nahezu fehlerfreien Bilder der *Sony F65* (*Abb. 45, 46*), die durch den externen Rekorder aufgenommen wurden, sind Folge des Skalierungsprozesses, bei dem das ursprüngliche 4K Signal auf 2K herunterskaliert wird. Der Sensor der *Sony F65* ist ein 8K Sensor mit 8192x2160 Pixeln. Während einer Aufnahme wird der gesamte Sensor unabhängig der eingestellten Auflösung belichtet. Dadurch werden die Signale deutlich höher abgetastet, als dies bei einem herkömmlichen HD Signal der Fall ist. Durch diese Überabtastung und das anschließende herunterskalieren, werden die RGB Farbpixel zu echten Pixel zusammengefasst.¹³⁸ Die Folge ist ein nahezu artefaktfreies Full HD Bild mit einer hohen Detaildarstellung.

5.3.4 Testergebnis des 4K Signals

Die 4K Aufnahmen mit ihren 4096x2160 Pixel wurden über das *SRMaster* System von *Sony* aufgenommen und in einem externen Postproduktionshaus verarbeitet. Die Nyquist-Frequenz liegt bei 40 LP/mm.

¹³⁸ Anmerkung: siehe Kapitel *Der digitale Bildsensor*

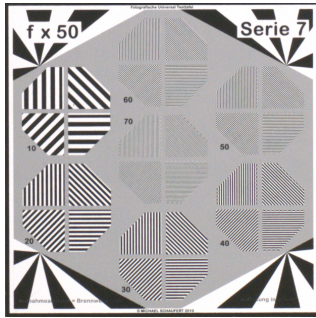
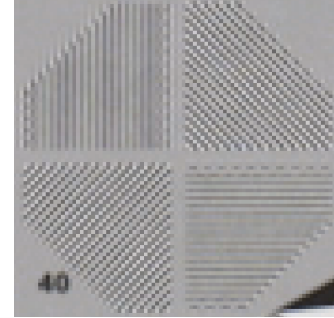


Abb. 48: Testgrafik in 4K Qualität



Abb. 49: 4K Vergrößerung 40 LP/mm

Abb. 50: Full HD Vergrößerung
40 LP/mm der Sony F65 via Ninja

Anhand der Testgrafik in *Abb. 48* ist gut zu erkennen, dass in der *Sony F65* ein 8K Sensor verbaut ist. Die geforderten 40 LP/mm werden ohne nennenswerte Probleme aufgelöst. Bis hin zu 60 LP/mm sind feine Strukturen voneinander trennbar. Als Vergleich ist in *Abb. 50* die bereits gut auflösende Full HD Konvertierung der *Sony F65* dargestellt. Der Vergleich dieser beiden Ergebnisse verdeutlicht den erneuten Qualitätssprung, den ein Bild in Hinblick auf seine Detailauflösung erfährt, wenn es in 4K Auflösung aufgenommen wird. Die Linien sind klar voneinander getrennt. Diagonale Linien weisen keine Treppmuster auf und die Kontrastdarstellung ist durchgängig gut. Abgesehen von leichten Farbsäumen, die sich ab 50 LP/mm über das Bild erstrecken, sind in den Auflösungsbereichen über 40 LP/mm vereinzelt Moiré Effekte zu erkennen. Moiré ist ein störender Effekt, der vor allem für die Kostümapteilung mit zunehmender Auflösung eine Herausforderung darstellt.¹³⁹

Die Abbildungsleistung einer 4K Auflösung ist unter der Bedingung, dass ein hochqualitatives Objektiv verwendet und richtig fokussiert wird, außerordentlich. Unter Idealbedingungen ist eine Fülle an zusätzlichen Details möglich. Die 4K Auflösung bietet mit Abstand die beste Detailauflösung. Gerade im direkten Vergleich zu den bisherigen SD und Full HD Auflösungen sind die Qualitätssprünge deutlich sichtbar. Während ein konvertiertes Full HD Signal der *Sony F65* (*Abb. 45*) ebenfalls recht gute Ergebnisse liefert, ist das Auflösungsvermögen eines herkömmlichen SD Signals nicht zufriedenstellend. (*Abb. 40*) Die Detailtreue von 4K Material übersteigt die einer SD und sogar HD Auflösung um ein vielfaches. Durch die höhere Pixelzahl der 4K Auflösung werden aber auch, und das kann als Nachteil empfunden werden, keine Kompromisse in der Detaildarstellung mehr eingegangen. Wodurch einige Departments wie z.B. die Maske in Schwierigkeiten geraten könnten.¹⁴⁰

¹³⁹ Anmerkung: siehe Kapitel *Konsequenzen von 4K für die Filmbranche*

¹⁴⁰ Anmerkung: siehe Kapitel *Konsequenzen von 4K für die Filmbranche*

Nun ist es unter realen Bedingungen selten der Fall, dass solch starke Schwarzweiß Kontraste auftreten. Dieses Testverfahren soll im Gegensatz dazu, aber das technisch machbare darstellen und die Grenzen der jeweiligen Auflösung definieren. Die gewonnenen Kenntnisse helfen dabei, die Bedeutung einer höheren Auflösung zu verstehen. Bilddetails sind wichtig, aber nicht allein entscheidend für ein qualitativ hochwertiges Bild.

6 Erörterung der Konsequenzen von 4K für die Filmbranche

Die Realisation eines Filmes oder einer Sendung ist in der Regel eine Teamleistung. Eine gute Vernetzung der verschiedenen Gewerke untereinander ist ein wichtiger Aspekt, um die erfolgreiche Umsetzung eines Filmstoffes zu gewährleisten. Dementsprechend beeinflusst der Einzug eines höheren Auflösungsstandards einen Großteil der unterschiedlichen Gewerke unmittelbar. Nicht nur die Arbeit des Kameradepartments verändert sich. Da jedes Gewerk in einer gewissen Abhängigkeit zu einem anderen steht, beeinflusst die Veränderung des Workflows des einen, den des anderen. Arbeitsprozesse müssen angepasst und aufeinander abgestimmt werden. Die Kommunikation ist der entscheidende Faktor, wenn es darum geht eine neue Problematik gemeinsam bewerkstelligen zu können. Der 4K Auflösungsstandard wird in immer mehr großen Spielfilmproduktionen eingesetzt.

Die *Showtech 2013* bot mit der „*Aktionsfläche Bildeffekte in HD*“¹⁴¹ eine ausgezeichnete Möglichkeit, um mit verschiedenen Vertretern unterschiedlichster Gewerke über die aufkommenden Problematiken und Risiken zu sprechen, die mit dem Wandel auf einen höheren Auflösungsstandard verbunden sind.

6.1 Veränderungen im Kameradepartment

Vorraussetzung für eine 4K Auflösung ist die Ausgangsleistung des Kamerasensors. Mit dem Einzug echter 4K Bildsensoren, verändert sich der Arbeitsprozess für das Kameradepartment entscheidend. In erster Linie muss dem Kameramann bzw. dem Schärfearbeitenden bewusst sein, dass sich mit der 4K Auflösung die Tiefenschärfe der Abbildung verringert. Dies liegt an dem sich reduzierenden Bildunschärfekreis. Die Tiefenschärfe wird durch folgende Faktoren beeinflusst: Abstand zum Objekt, Brennweite, Blende und der erwähnten Größe des Unschärfekreises.

„Der Unschärfekreis resultiert aus der Größe der Pixel auf der CCD und deren Abstand zueinander“¹⁴²

141 URL: http://www.showtech.de/aktionsflaeche_bildeffekte_in_hd_27.html (abgerufen am 27.06.2013)

142 Siem, Olaf: „Anregungen für die Auswahl passender HD-Objektive“. FKT, 2011. Heft 5. S.228

Auf einem 4K Bildsensor befinden sich bei gleicher Sensorgröße 4x so viele Pixel, wie bei einem 2K Bildsensor. Das heißt rund 8,8 Millionen anstelle von 2,2 Millionen Pixel auf der gleichen Sensorfläche. Das wiederum bedeutet, dass sich die Größe der Pixel, sowie der Pixelabstand verringern müssen, um weiterhin auf die Sensorfläche des 35mm kompatiblen Bildsensors zu passen. Aufgrund dieser Anpassung verringert sich auch der Unschärfekreis und somit auch die Tiefenschärfe. Der Schärfearbeitnehmer muss demnach noch genauer fokussieren, damit das scharf zu stellende Objekt auch scharf abgebildet werden kann. Bei den ohnehin geringen Tiefenschärfen, mit denen bei Spielfilmen gearbeitet wird, ein sehr anspruchsvolles Unterfangen. Da sich die Objekte in der Regel im Bild bewegen, ist der Schärfearbeitnehmer gezwungen die Schärfe mitzuziehen, damit die Objekte im Fokus bleiben. Dies benötigt bei Tiefenschärfen von teilweise wenigen Zentimetern viel Erfahrung und Sorgfalt. Ohne die ebenfalls höher auflösenden Sichtmonitore für Schärfearbeitnehmer, ist dies nahezu unmöglich. 4K Auflösung lässt sich bei anspruchsvollen Szenen nur von den besten Kameraassistenten bewerkstelligen. Des Weiteren sehen sich Kameramänner mit dem Problem konfrontiert, dass eventuelle Fokussierungsfehler auf großen Leinwänden bzw. Bildschirmdiagonalen deutlicher zu erkennen sind. 4K ermöglicht genau diese Art von steigenden Leinwandgrößen. Die Gefahr, Unschärfen eher zu erkennen erhöht sich dadurch erheblich. Erneut ist ebenfalls die Erfahrung und die Zuverlässigkeit des Schärfearbeitnehmers gefragt. Dessen Position wird mit der höheren Auflösung eine größere Bedeutung erfahren, als sie ohnehin schon hat.

Produzieren in 4K bedeutet möglicherweise auch eine Veränderung in der Szenenauflösung. Der Bildaufbau und die Kadrierung sind ein sehr wichtiges gestalterisches Werkzeug des Bildgestalters. Gerade in emotionalen und entscheidenden Augenblicken eines Darstellers wird gerne und häufig die stilistisch sehr wirksame Einstellungsgröße des Close ups verwendet. Können nun Maskenbildner diese hohe Detailauflösung im Gesicht nicht bewerkstelligen, ohne dass der künstliche Eingriff ersichtlich wird, wäre es möglich von Groß- und DetailEinstellungen Abstand zu nehmen, um den Zuschauer nicht vorsätzlich auf Fehlersuche im Gesicht zu schicken. Weichzeichnungsfilter könnten hierbei ebenfalls helfen, würden aber die gewonnene Detailfülle relativieren. Dadurch könnte sich die Erzählweise des Films und möglicherweise auch die Sehgewohnheiten des Zuschauer verändern. Die Wahl des richtigen Objektives ist für das Kameradepartment bei einem 4K Workflow ebenfalls von elementarer Bedeutung. Das Objektiv ist das erste Glied der gesamten Produktionskette, was die potenzielle 4K Auflösung bewerkstelligen muss. Noch vor dem Sensor entscheidet also die verwendete

Optik darüber, ob die zusätzliche Auflösung auf den Sensor trifft, oder durch mangelnde Verarbeitung bereits an den Linsen verloren geht.

Da viele Kameramänner der höheren Auflösung skeptisch gegenüber treten, werden seit einigen Jahren gerne alte, teils unvergütete Optiken verwendet, um der hohen Pixelzahl entgegen zu wirken. Das Ergebnis ist ein weniger detailreiches, sehr weiches Bild, das durchaus Sympathien beim betrachten weckt, das eigentliche Potenzial der Kamera jedoch nicht ausreizt. Dies ist hoffentlich eine Tenderscheinung, die nicht lange Bestand haben wird. Zumindest von der Herstellerseite werden kontinuierlich neue Objektivserien herausgebracht, die aufgrund ihrer äußerst hochwertigen Verarbeitung 4K tauglich sein sollen. Dadurch, dass die Sensorgröße die eines S35mm Chips nicht übersteigt, müssen die Pixel unglaublich klein gefertigt werden. Dafür braucht es Linsen, die diesen Sensor mit genug Information versorgen.¹⁴³

Für DITs bedeutet das Arbeiten mit der 4K Auflösung einen beträchtlichen Zuwachs der zu verarbeitenden Datenmengen. Eine Stunde unkomprimiertes 4K RAW Material entspricht bei der *Sony F65* einem Speicherbedarf von 1000GB.¹⁴⁴ Die entstehende Datenflut muss zuverlässig be- und verarbeitet werden können.

Unter Anbetracht all dieser Aspekte allein für das Kameradepartment fällt auf, dass sich mit 4K Auflösung einiges verändert. Die Anforderungen, speziell an den 1.Kameraassistenten steigen und setzen größere Sorgfalt und Kenntnisse voraus.

6.2 Veränderungen für die Maskenbildner

Maskenbildner sind von der 4K Auflösung direkt betroffen. Da Maskenbildner die Darsteller schminken, frisieren und bekleben, sind ihre Ergebnisse direkt auf der Leinwand bzw. im Fernseher zu sehen. Auf der *Showtech 2013* wurden viele Vorträge über die Problematik von HD Inhalten für Maskenbildner gehalten.



Abb.51: Beispiele der „Aktionsfläche in HD“ Bereich Maskenbild

143 URL: http://www.youtube.com/watch?v=nPaQhVgdN_0 (abgerufen am 27.06.2013)

144 URL: <http://www.eoshd.com/content/3921/sony-cinealta-f65-8k-priced-to-compete-with-arri-alexa-and-red-epic> (abgerufen am 27.06.2013)

Der Umstieg vom SD zum HD Signal hat für die Maskenbildner bei Fernsehproduktionen bereits eine gewisse Umstellung erfordert. Maskenbildner die für die Produktion von Kinospielefilmen tätig sind, haben diesen Umstieg besser überstanden. Dies liegt grundsätzlich an der höheren Auflösung des 35mm Filmmaterials gegenüber SD Auflösung. Erhöht sich nun aber der Auflösungsstandard von HD bzw. 2K auf UHD-1 bzw. 4K sind alle Maskenbildner betroffen. Prinzipiell führt eine höhere Detailauflösung in den Gesichtern von Darstellern dahin gehend zu Problemen, dass Hautunreinheiten wie verstopfte Poren oder Pickel sichtbar werden. Kleine Falten werden erkennbar und der Schauspieler verliert dadurch an Ausstrahlungskraft. Gerade bei weiblichen Darstellern ist dieser Nebeneffekt in der Regel unerwünscht. Die Aufgabe des Maskenbildners besteht darin, diese Unreinheiten hinter Kosmetikprodukten verschwinden zu lassen. Eine höhere Auflösung zwingt die Maske nun zu einer deutlich feineren Arbeitsweise.

Vor allem bei der Arbeit mit Perücken, Bärten oder fiktiven Masken muss darauf geachtet werden, dass der Zuschauer diese Utensilien nicht als solche identifiziert. Angeklebte Präparate müssen noch sorgfältiger verarbeitet werden, denn sonst tritt der schlimmste Fall in Kraft. Erkennt der Zuschauer die Arbeit des Maskenbildners wird er aus seiner Illusion herausgerissen, wodurch die Wirkung des Films auf den Betrachter erheblich gestört wird. Im Vergleich zu konventionellen Make up Techniken, werden für Hochglanz HD Produktionen, die Darsteller häufig mit Airbrush Techniken geschminkt.¹⁴⁵ Der Visagist kann durch die Airbrush-Spritzpistole besonders feines Make up auf der Haut verteilen, ohne diese berühren zu müssen.

Diese Arbeitsweise könnte für 4K Inhalte ebenfalls interessant werden, da herkömmliche Schminktechniken mit 4K an ihre Grenzen stoßen. In der Präsentation von *Bernhard Klinglmaier* wurde deutlich, dass die Zusammenarbeit des Maskenbildners mit dem Oberbeleuchter und dem Bildgestalter elementar ist. Ein Maskenbildner ist darauf angewiesen, dass das verwendete Make up auf die Lichtsituation und Kameraeinstellung abgestimmt ist. Die Gefahr, durch falsch gesetztes Licht die Arbeit des Maskenbildners zu verschlechtern, ist groß und nutzt im Endergebnis niemanden.

6.3 Veränderungen für das Kostümbild

Die für die Kostümbildner auftretende Problematik ist keine neue, verändert sich aber mit jedem neuen digitalen Auflösungsformat. Ein Kleidungsstück bzw. ein Kostüm be-

¹⁴⁵ Anmerkung: Vortrag auf der *Showtech* 2013 von *Bernhard Klinglmaier*

steht aus verschiedenen Mustern, Verzierungen oder Abbildungen. Auch die Struktur der Stoffe kann sehr unterschiedlich ausfallen. Es gibt sehr feine, aber auch grob gewebte Stoffmuster. Kleidungsstücke bestehen häufig aus Streifenmustern. Diese Stoffe und Strukturen haben alle eines gemeinsam, sie verursachen Moiré Effekte im Bild. Wie im Kapitel *Der digitale Bildsensor* bereits beschrieben, entsteht dieser Effekt ausschließlich bei digitalen Sensoren, aufgrund der feinen Rasterstruktur der Pixel. Beim Filmnegativ tritt Moiré nicht in Erscheinung, da hier die Anordnung der Silberkörner zufällig erfolgt. Es gibt kein bestimmtes Muster, das eingehalten werden muss und demnach keine Überlagerung mit den feinen Mustern der Kostüme.

Der Moiré Effekt ist auch aus der Fotografie bekannt, er tritt im Bewegtbild aber noch unangenehmer in Erscheinung, da sich die Störmuster bewegen. Es wird also eine Art Bewegungsmuster ausgelöst, das so an dieser Stelle nicht vorhanden sein sollte. Zusätzlich verlagert Moiré die Aufmerksamkeit des Zuschauers von der eigentlichen Handlung hin zum Störeffekt. Da Moiré bereits mit SD und HD in Erscheinung tritt, ist dies für Kostümbildner im Fernsehen kein neuer Effekt in ihrem Arbeitsprozess. Mit der 4K Auflösung erreicht das Bild nun aber eine so hohe Detailauflösung, dass sie bis in die Struktur der jeweiligen Stoffe vordringt. Das bedeutet, traten Moiré Effekte früher vor allem in groben Mustern wie karierten Hemden auf, hat sich mit der steigenden Auflösung der Grad an dem Moiré Auftritt stetig verfeinert. Mit 4K Auflösung stellt Moiré in solch groben Strukturen und Mustern kein Problem mehr dar, dafür aber in so feinen Strukturen, dass wohlmöglich eine Großzahl an Stoffen nicht mehr verwendet werden kann. Zusätzlich ist Moiré abhängig von der verwendeten Brennweite des Objektivs und dem Abstand zum Objekt. Bewegt sich ein Darsteller durch die Szenerie, kann es dazu kommen, dass die getragene Kleidung ab einem bestimmten Entfernungspunkt zur Kamera plötzlich beginnt, Moiré zu erzeugen. Und zwar genau an der Stelle, an der die Struktur des Kostüms, der Anordnung der Pixel des Bildsensors entspricht. Moiré tritt also bei der Überlagerung zweier gleicher Rastermuster auf.¹⁴⁶ Je feiner das Raster der Pixel auf dem Sensor ist, desto feiner muss auch das Muster des Stoffes sein, damit der Effekt auftritt. Aus diesem Grund werden gemeinsame Tests der Kostümbildner mit dem Kameradepartment im Vorfeld immer entscheidender.

Die einzige Möglichkeit die sich dem Kameramann bei Moiré bietet, ist die leichte Defokussierung. Dadurch verschiebt sich der Schärfenpunkt vor bzw. hinter das problembehaftete Muster, die Folge ist, der Moiré Effekt verschwindet. Dieser Kompromiss, dass

¹⁴⁶ URL: <http://de.mimi.hu/fotografie/moire.html> (abgerufen am 12.07.2012)

ein mit Störungsmustern behaftetes Bild, durch ein unscharfes Bild ersetzt wird, ist jedoch nicht zufriedenstellend.

Es ist für das Kostüm also wichtig zu wissen, in welcher Auflösung gedreht wird, damit potenziell gefährdende Stoffe vermieden werden können. An diesem Punkt wird es erneut entscheidend, die Kommunikation gewerkeübergreifend zu verbessern. Das Kostümbild ist auf die Aussagen des Kameradepartments angewiesen, um die richtigen Stoffe für die jeweilige Produktion zu finden.

6.4 Veränderungen für die Postproduktion

Für die Postproduktion bietet 4K eine Menge Vorteile, aber auch vereinzelte Nachteile. Ähnlich wie beim DIT bereits angesprochen, ist die Postproduktionsfirma die nächste Instanz, die die zunehmenden Datenmengen verarbeiten muss. Wird ein Film in 4K gedreht, wird er mit deutlich höheren Datenraten aufgenommen. Diese benötigen in der späteren Verarbeitung mehr Rechenleistung. Die Folgen sind längere Bearbeitungszyklen, sowie deutlich längere Renderzeiten.¹⁴⁷ Andererseits bedeutet ein gutes 4K Bild mit seiner besseren Detailauflösung in der Nachbearbeitung deutlich mehr Freiheiten. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil an Filmszenen wird heutzutage bereits vor Green- bzw. Bluescreens gedreht. Aufgrund des rasanten Fortschritts des digitalen Zeitalters werden immer mehr VFX Effekte in den Filmen integriert. Um diese künstlichen Welten zu erschaffen, ist es von großem Vorteil 4K Quellmaterial zur Verfügung gestellt zu bekommen. Häufig müssen digitale Hintergründe in ein bestehendes reales Setting integriert werden, auf dem die Darsteller agieren. Um den fertigen Hintergrund in den Greenscreen einzusetzen, muss dieser sozusagen „herausgestanzt“ werden. Dies ist in der Regel bei starken Kontrasten und richtiger Ausleuchtung kein Problem, aber gerade bei feinen Strukturen, wie z.B. den Haaren des Darstellers, problematisch. Besitzt das Bild eine höhere Auflösung, ist es feiner und detailgetreuer aufgelöst, dadurch können die Personen feiner ausgeschnitten werden. Das Ergebnis ist besser als bei einer niedrigeren Auflösung. Doch auch wenn das Ergebnis einer 2K Auflösung entsprechen soll, ist 4K als Ausgangsmaterial gut geeignet. Durch die zusätzliche Auflösung können digitale Zooms bzw. Kamerafahrten künstlich erzeugt werden. Da das Quellmaterial 4x so viele Pixel enthält, kann der Bildausschnitt bis zu einem bestimmten Punkt verändert werden, ohne dass die Grenze der 2K Auflösung erreicht wird.

¹⁴⁷ *Rendern*: Berechnen von Schnittvorgängen während der Postproduktion

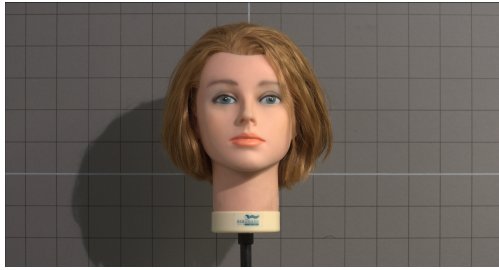


Abb.52. Links: das Bild des 4K Quellmaterials

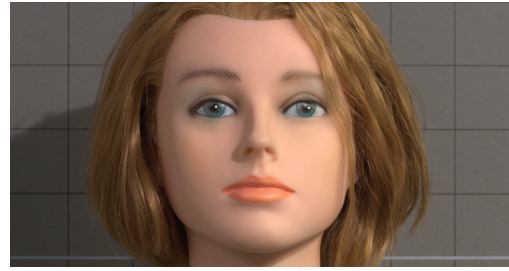


Abb.53: Rechts: mögliche Vergrößerung unter Erhalt der 2K Qualitätsanforderung

Ist das Endergebnis ein 2K Film, so wäre Abb.5 die mögliche Vergrößerung aus Abb.4, die aus einem 4K Quellmaterial verwendet werden könnte, damit die Zuschauer des 2K Spielfilms keine qualitativen Unterschiede sehen würden. Die Bearbeitungsmöglichkeiten eines 4K Materials sind immens. Auch für das ausgleichen eventueller Kadrierungsfehler, kann die zusätzliche Auflösung genutzt werden. Unter Vernachlässigung der Problematik mit den Datenmengen, profitiert die Postproduktion bisher am intensivsten von der zusätzlichen Detailauflösung, die 4K mit sich bringt. Es erweitert den Spielraum an Möglichkeiten und kann eventuelle Fehler besser beheben.

In Anbetracht der verschiedenen Gewerke fällt besonders ins Auge, dass der gegenseitige Austausch an Wissen und Informationen mit der zusätzlichen Auflösung an Bedeutung gewinnt. Um ein qualitativ hochwertiges Ergebnis liefern zu können, ist die gegenseitige Unterstützung wichtig. Aufkommende Probleme werden im Idealfall gemeinsam gelöst. Nur über die Wege der Kommunikation können Fehlentscheidungen vermieden werden.

7 Fazit

Zu Beginn dieser Arbeit stand die entscheidende Frage, ob sich durch 4K die Bildqualität in dem Maße verbessert, wie es die Hersteller von Kameras und TV-Geräten dem potenziellen Käufer versprechen. Auch nach intensivster Recherche lässt sich darüber kein endgültiges Urteil treffen.

Einerseits gibt es genügend Aspekte die dagegen sprechen ständig nur die Pixelzahl der Sensoren zu erhöhen und dafür andere potenzielle Bildparameter zu vernachlässigen. Andererseits bringen mehr Pixel in einigen Bereichen auch entscheidende Vorteile mit sich.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass in erster Linie das menschliche Auflösungsvermögen und die damit definierten Auflösungsgrenzen entscheiden, ob und unter welchen Umständen wir die zusätzlichen Pixel und die daraus resultierenden Detailverbesserungen im Bild wahrnehmen können. Dass die Detailauflösung tatsächlich steigt, konnte in eigenen Testverfahren verifiziert werden. Auch die Kompression der Daten spielt eine entscheidende Rolle, da durch eine zu starke Komprimierung die zusätzlichen Bilddetails wieder verloren gehen könnten. Der volle Auflösungsgewinn kann nur wahrgenommen werden, wenn bestimmte Grundvoraussetzungen gewährleistet sind. In erster Linie ist der richtige Sitzabstand zum Medium entscheidend. Auch Zuschauer die zu nah oder zu weit entfernt sitzen können zu einem gewissen Maße von einer 4K Auflösung profitieren, die positiven Auswirkungen auf das Seherlebnis sind jedoch nur eingeschränkt erkennbar.

Des Weiteren konnte eindeutig widerlegt werden, dass die Auflösung für die Bildschärfe einen entscheidenden Faktor darstellt. Die Bildschärfe wird in erster Linie durch den Kontrast an groben Strukturen und Bildkanten transportiert, weshalb die Pixelanzahl der Auflösung, eher das Grundgerüst eines Bildes darstellt. Eine gewisse Mindestauflösung muss vorhanden sein, um Details und Linien für das Auge angenehm darstellen zu können. Die Grenze ist spätestens dann erreicht, wenn die Auflösung die Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges übersteigt. Dies ist bei 4K Auflösung bereits teilweise der Fall.

Für die Steigerung der Bildgüte sind stattdessen andere Parameter viel entscheidender. Durch die Erweiterung des kamerainternen Dynamikumfangs lassen sich deutlich höhere Kontrastdarstellungen im Bild erzielen, von denen jeder unabhängig seiner

Sehleistung profitieren kann. Auch die Bewegungsunschärfen lassen sich dank der digitalen Produktionsweisen, mittels HFR Verfahren, noch drastisch reduzieren. Beide Technologien haben nachweislich einen großen Einfluss auf die Bildgüte.

Grundsätzlich sollte sich die gesamte Diskussion über die Bildqualität auf mehr als nur einen Parameter beschränken. Leider werden seitens der Industrie nur die Parameter angepriesen, mit denen die besten Verkaufszahlen erreicht werden können. 4K Auflösung eignet sich für diese Vorgehensweise deshalb so gut, da sich der Kunde an den Wechsel von SD zu HD erinnert fühlt und die gleichen bildverbessernden Maßnahmen mit 4K gleichsetzt. In den Augen der Kunden ergeben mehr Pixel fälschlicherweise automatisch ein besseres Bild. Das Bilder aufgrund des Bayer-Musters in der Regel interpoliert werden müssen, wodurch sich die Auflösung reduziert, wird vernachlässigt.

Während meines Schreibprozesses viel mir auf, dass sich meine eigene Meinung der 4K Thematik gegenüber mehrfach veränderte. In erster Linie bestand mein Ziel darin, die Argumente der Industrie zu entkräften, um zu zeigen, dass die Auflösung nur einer von vielen Faktoren ist, der sich positiv auf die Bildqualität auswirken kann. Mit der Einsicht, dass das eigentliche Ziel jedoch darin besteht, irgendwann das aus technischer Sicht optimale Bild präsentieren zu können, veränderte sich meine Denkweise über 4K. Denn unter der Annahme des soeben genannten Aspektes, ist eine höhere Auflösung als notwendig zu betrachten. Auch wenn nicht unter allen Umständen von 4K profitiert werden kann, so gibt es dennoch Bereiche und Einsatzzwecke für die eine höhere Auflösung prädestiniert ist.

An erster Stelle seien hier die Möglichkeiten bei der Nachbearbeitung des in 4K gedrehten Materials benannt. Vor allem bei Greenscreen Szenen lassen sich durch die höhere Detailauflösung, sauberere und bessere Schnitte entlang feiner Kanten und Linien setzen. Auch digitale Zooms und Kamerafahrten lassen sich mit 4K Material für ein 2K DCP ermöglichen. Des Weiteren konnte herausgefunden werden, dass entgegen meiner Erwartungen, ein Großteil der Kinozuschauer von 4K profitiert. Im Vergleich zur Kontrastverbesserung sind die Fortschritte eher sekundär, aber sie sind vorhanden.

Der Umstieg von 2K zu 4K bringt einige Veränderungen mit sich und erfordert allseits viel Geduld und Investitionsmut. Gerade seitens Kinobetreiber und Sendeanstalten sind hohe Investitionen die Voraussetzung um 4K erfolgreich etablieren zu können. Auf Dauer würde ich die Chancen, dass sich 4K im Fernsehen wie im Kino durchsetzt, als realistisch betrachten, da die positiven Argumente speziell in Hinblick auf das optimale Bild überwiegen werden.

Es ist wie bei jeder neuen Technologie, sie braucht Zeit um sich zu entfalten und wird zu Beginn mit einer gesunden Portion an Skepsis betrachtet, hat man sich jedoch erst an den neuen Standard gewöhnt, möchte man auf ihn nicht wieder verzichten.

Literaturverzeichnis

Sachliteratur

- BIEBELER Ralf (Hg.): Fachverlag Schiele und Schön. *Video-Codecs*. Berlin 2007
- PALLISTER Inka et al. (Hg.): mediabook Verlag. *Digital Media und HD*. Stein-Bockenheim 2005.
- RIEGLER Thomas (Hg.): Verlag für Technik und Handwerk. *HDTV – Alles rund ums hochauflösende Fernsehen*. Baden-Baden 2006
- SCHMIDT Ulrich (Hg.): Carl Hanser Verlag. *Digitale Film- und Videotechnik*, 3. Auflage. München 2011
- WALDRAFF Thomas (Hg.): Springer-Verlag. *Digitale Bildauflösung*. Berlin, Heidelberg 2004

Fachzeitschriften

- CLAYPOOL Brian et al. (Hg.): FKT. *Digitale Kinoprojektion: Auswahl der richtigen Technologie*. Heft 4. 2011. S.187-192
- ECKSTEIN Eckhard (Hg.): Medien Bulletin. *3D wird Digital-Cinema-Motor*. Heft 9. 2009. S.66-70
- ECKSTEIN Eckhard (Hg.): Medien Bulletin. *Es wird hektisch*. Heft 6. 2013. S.26-30
- HEDTKE Rolf (Hg.): FKT. *HDTV ... und was kommt danach?*. Heft 4. 2013. S.157-163
- KIENING Hans (Hg.): Film & TV Kameramann. *4K und mehr*. Heft 9. 2007. S.72-88
- KIENING Hans (Hg.): FKT. *4K und darüber*. Heft 3. 2010. S.93-96
- KRAUS Franz (Hg.): FKT. *Arri, Alexa und 4k*. Heft 4. 2013. S.164-165
- LOSSAU Jürgen (Hg.): Zoom. *Arri Alexa XT Modelle vorgestellt*. Heft 3. 2013. S.8-11
- SEILER Constantin et al. (Hg.): FKT. *High-Level-Kompressionsstufen für ein DCI-konformes Digitalkino*. Heft 11. 2006. S.659
- SIEM Olaf (Hg.): FKT. *Anregungen für die Auswahl passender HD-Objektive*. Heft 5. 2011. S.226-230

Broschüren

KIENING Hans (Hg.): ARRI. *4K+ Systems*. 2008.

KRAUS Franz (Hg.): film-tv-video. *Wohin geht die Reise?*. 2013

NASSE H.H (Hg.): Carl Zeiss. *Schärfentiefe und Bokeh*. 2010.

N.N. (Hg.): FFA. *Struktur der Kinosäle in der Bundesrepublik Deutschland*. 2012.

Internet

4K FILME: <http://4kfilme.de>

ARD URL: <http://www.ard-digital.de>

BBC URL: <http://www.bbc.co.uk>

COMPUTERBASE URL: <http://www.computerbase.de>

CREATIVECOW URL: <http://www.creativecow.net>

DIGITALELEINWAND <http://www.digitaleleinwand.de>

EOSHD URL: <http://www.eoshd.com>

FILM-TV-VIDEO URL: <http://www.film-tv-video.de>

FOVEON URL: <http://www.foveon.com>

FREEDUMB URL: <http://www.freedumb.net>

HEISE URL: <http://www.heise.de>

HOEVELHOF URL: <http://www.hoevelhof.com>

ITWISSEN URL: <http://www.itwissen.info>

KIMM URL: <http://www.kimm.uni-luebeck.de>

MEBUCOM URL: <http://www.mebucom.de>

MIMI URL: <http://de.mimi.hu>

NETZWELT URL: <http://www.netzwelt.de>

PETER JACKSON FACEBOOK URL: <https://de-de.facebook.com/PeterJacksonNZ>

PLAYER URL: <http://www.player.de>

PRESSEBOX URL: <http://www.pressebox.de>

PRINTGUIDE URL: <http://the-print-guide.blogspot.de>

RED URL: <http://www.red.com>

RED SHARK URL: <http://www.redsharknews.com>

SHOWTECH URL: <http://www.showtech.de>

SLASHCAM URL: <http://www.slashcam.de>

SOVIET MONTAGE URL: <http://www.sovietmontage.com>

THE REGISTER URL: <http://www.theregister.co.uk>

UNFOTO URL: <http://www.unfoto.de>

UNIVERSITÄT PADERBORN URL: <http://www.cs.uni-paderborn.de>

VIMEO URL: <https://vimeo.com>

WIKIPEDIA URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite>

YOUTUBE URL: <http://www.youtube.com>

ZEISS URL: http://corporate.zeiss.com/corporate/de_de/home.html

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, den TT. Monat JJJJ

Vorname Nachname